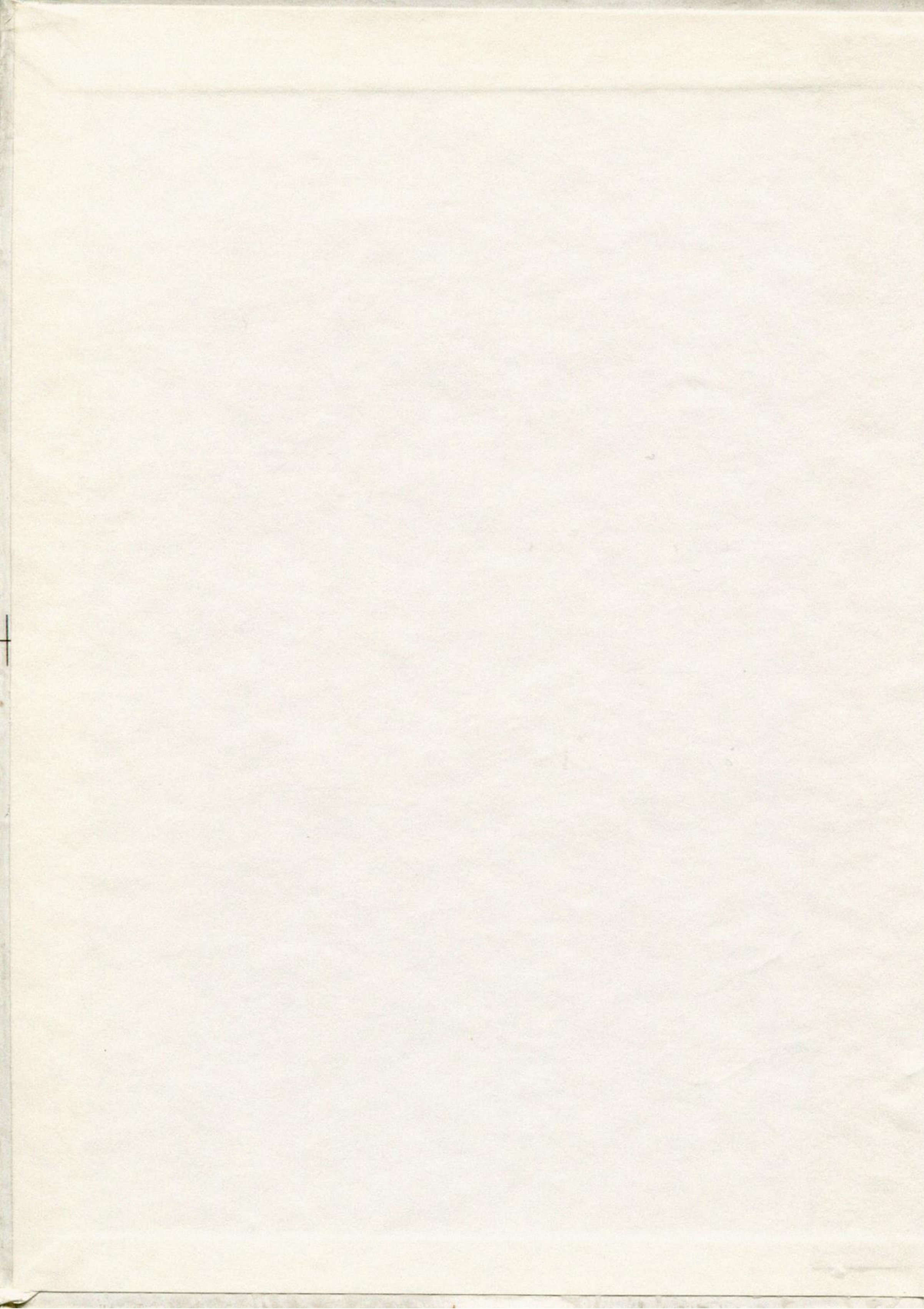
الوجيز في الجيولوجيا

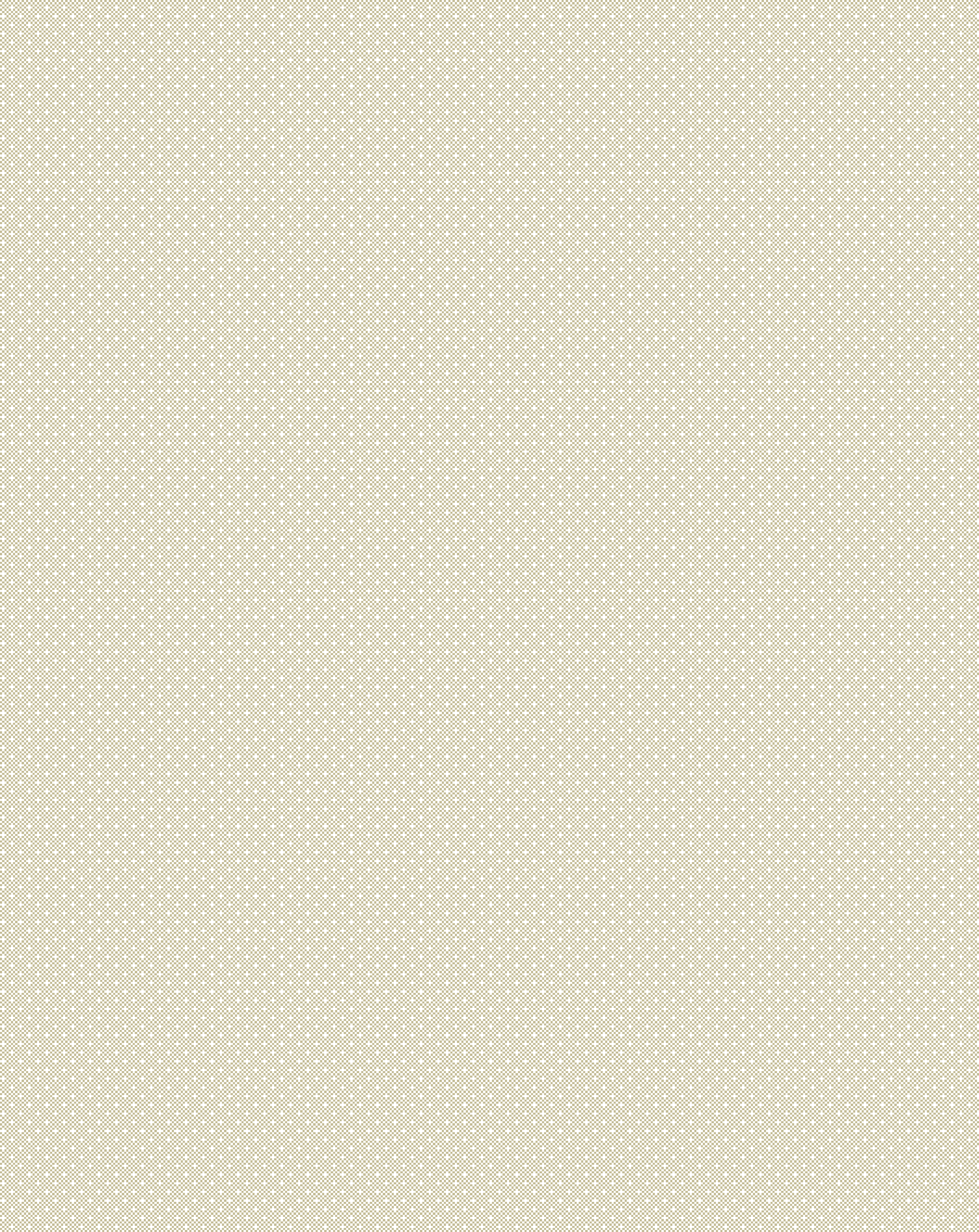
ليون موريه

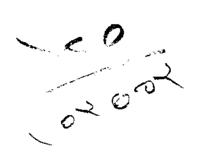
ترجمة

الدكتور يوسف خوري
استاذ في قسم الجيولوجيا
رئيس قسم الجيولوجيا سابقاً
في جامعة دمشق

الدكتور عبد الرحمن حميدة
استاذ في قسم الجغرافيا
رئيس قسم الجغرافيا سابقاً
في جامعة دمشق









دمشق ـــ اوتوستراد المزة

هاتف ٢٤٤١٢٦ ـــ ٢٤٣٩٥١

تلكس ٤١٢٠٥٠

ص. ب: ١٦٠٣٥

العنوان البرقي

طلاسدار

TLASDAR

ريع الدار مخصص

لصالح مدارس أبناء الشهداء في القطر العربي السوري

الوجيز في الجيولوجيا

الطبعة الأولى
١٩٨٧

ليـــون موريـــه

الوجيز في الجيولوجيا

تـــرجـــمـــة

د. يوسف الخوري

أستاذ في قسم الجيولوجيا

رئيس قسم الجيولوجيا سابقاً

في كلية العلوم بجامعة دمشق

د. عبد الرحمن حميدة

أستاذ في قسم الجغرافية

رئيس قسم الجغرافية سابقاً

في كلية الآداب بجامعة دمشق

بين يدي الكتاب

يحتل كتاب «الوجيز في الجيولوجيا» للعلّامة ليون موريه، والذي نضعه لأول مرة باللغة العربية، نقول يحتل مكانة مرموقة بين المؤلفات الأجنبية المماثلة التي تتصدّى لهذا الفرع من المعرفة العلمية، لشموليته، ولعلو مقام مؤلفه الذي يعد صاحب مدرسة جيولوجية قائمة بذاتها.

ولعل أكبر دليل على نجاح هذا الوجيز في الأوساط الأكاديمية هو اضطرار المؤلف والناشر لإعادة طباعته ست مرات متواليات مع تعديلات وإضافات أشار إليها موريه في مقدمة كل طبعة، هذا فضلاً عن تبني هذا الكتاب في جامعات أقطار المغرب العربي والشرق الأدنى كمرجع رئيس في أقسام الجيولوجيا والجغرافيا.

هذا وقد اعتمدنا في تعريب المصطلحات على أحدث المعاجم المختصة وعلى رأسها معجم الجيولوجيا الصادر عن مكتب التعريب، التابع للجامعة العربية، في الرباط، وذلك رغبة منا في توحيد العبارات العلمية بين الأوساط الجامعية في سائر أنحاء الوطن العربي الكبير.

هذا وليس من الإنصاف في شيء أن نغفل التعبير عن عميق امتناننا للجهد المشكور والمتابعة الحثيثة اللذين بذلهما العاملون في دار طلاس في إخراج هذا الكتاب إلى النور، وعلى رأسهم مديرها السيد اللواء إكليل أتاسي، والسيد شادي الحلبي والآنستين ريما بطرس ورينيه صوصانية من قسم التنضيد الضوئي.

وختاماً نرجو أن يلقى هذا السِفْر، بعد تعريبه، لدى الجامعيين العرب من أساتذة وطلاب، الاهتمام نفسه الذي قوبل به لدى صدوره باللغة الفرنسية، كي نجد بعض العزاء عمّا بذلنا في ترجمته ومراجعته من عناء وسهر الليالي، والله من وراء القصد.

دمشق ٧ نيسان /إبريل/ عام ١٩٨٧

المعربان

يوسف الخوري **عبد الرحمن حميدة**

تمهيد

ليون موريه

عضو المجمع
عميد فخري لكلية العلوم
وأستاذ في المعهد العالي الوطني للهيدروليك في غرينوبل

لقد كان المقصد الأول من إصدار هذا التصنيف فائدة طلاب الليسانس وشهادة العلوم الفيزيائية والكيميائية والطبيعية SPCN، وكذلك لطلاب المعاهد العليا، التي تؤلف الجيولوجيا جزءاً هاماً من برنامجها. غير أن بمقدوره تقديم فائدة جلّى للجغرافيين وللمهندسين، الذين عليهم، وذلك استناداً لوجهة مهنتهم، أن يألفوا هذا العلم الذي لا تكون فائدته موضع نقاش.

غير أن الإقدام على إخراجه لحيِّز الوجود لم يحصل دون تهيُّب وتردد، إذ كان على مؤلِّفه التماس الكثير من العون والتشجيع لكي يحقق إنجازه.

ولا تزال الجيولوجيا، على الرغم من شبابها، علماً شهد بالفعل نمواً فريداً مضطرداً خلال القرن الأخير، ولهذا تكون فكرة جمع مجمل معلوماتنا في نوع من «حاصل» لسائر معارفنا عن هذا الموضوع الواسع، الذي يشتمل على علوم شديدة التباين كالجيوفيزياء وعلم المعادن (عِدانة) والباليئونتولوجيا مثلاً، قد تبدو لأول وهلة

كمشروع متهور. ولا سيما وأن هذا المؤلف معروض، فضلاً عن ذلك، على شكل «وجيز» تقليدي، وكان من اللازم اختيار ما يبدو أفضل تقريراً وأكثر خصباً، من خلال أكداس الوقائع والنظريات، وذلك كيلا يتحول هذا الحاصل إلى موسوعة جافة، بل يظل عرضاً يتميز بوضوحه وإيجازه، قدر المستطاع، للطرائق وللنتائج المنسجمة لكل هذه العلوم.

ومع هذا لم يحاول المؤلّـف إطلاقاً أن يضفي على كتابه منحىً شمولياً، ولهذا تحاشى أن يعالج فيه، بصورة منهجية، ما اتفق على تسميته بـ «الظاهرات الحالية» على افتراض منه بأنها معروفة منذ المدرسة الثانوية، أو لا يعمد للتذكير بها إلّا بصورة عَـرَضية في سياق الكلام عن تكوين الصخور.

وبالفعل لقد انصرف المؤلف، أساساً، لوصف المواد المؤلّـفة للقشرة الأرضية كي يدرس منها، بادئ ذي بدء، العناصر أو الفلزات (مبادئ علم المينيرالوجيا)، ثم الصخور التي لا تحصى والتي يهتم بها علم الصخور (بتروغرافيا) والتي هي عبارة عن تجمعات من فلزات متفاوتة في تعقيدها.

وتشكل دراسة التوزع التأريخي والجغرافي لكل هذه الصخور فرصة لاستعراض أكثر فروع الجغرافيا أهمية، ونقصد بها الستراتيغرافيا، التي تدرس العلاقات المتبادلة لطبقات الأرض، وعلم المستحاثات (الباليئونتولوجيا) الذي تقع على عاتقه مهمة وصف واستخدام المستحاثات التي نعثر عليها في الرسوبيات، وأخيراً التكتونيك الذي هو علم التشوهات اللاحقة التي تعتري الغلاف الصخري. ويسمح استخدام كل هذه العلوم، على شكل خلاصة، أقول يسمح أخيراً بعرض تاريخ الأرض (جيولوجيا تاريخية)، وهو الهدف الأخير من الجيولوجيا.

ويختتم الكتاب بثبت مقتضب بالمراجع، وذلك بعد الإشارة للمؤلفات العامة والمطولات، كي تأتي المراجع الرئيسة المعروضة حسب ترتيب المواد المدروسة. بيد أننا نجد بعض المراجع المتعلقة بمواضيع قليلة التبسيط، أو مطروحة على بساط البحث، في سياق النص. أما بالنسبة للتوضيح بالأشكال، فقد كان، كما هي الحال في المؤلفات

السابقة، معتدّاً على الخصوص لتمديد النص وأحياناً لتسـدّ مسدّها أو لتلافي نقص فيها.

ولما كان تدبيج هذا الكتاب قد تـمّ في أيام عصيبة، ومعتمد على ثبت مراجع ضامر لم تسمح الظروف، دوماً، بإكماله أو بتدقيقه، فهو لن يكون، بالطبع، كتاباً متصفاً بالكمال. ويعتذر المؤلـف عن ذلك، دون أن يأسف، مع هذا، على قراره، لأن المتعة التي حصل عليها أثناء إنشائه، ولا سيما عند توضيحه بالرسوم، سمحت له في كثير من الأحيان، بنسيان متاعبه، والمقتضيات الآنـية التي كانت تفرض نفسها بإلحاح. وكان خلال ذلك لا يغفل إطلاقاً عن التفكير بتلامذته وبكل الأشخاص الذين لم يتوقف عددهم عن التزايد، من الذين يحاولون الإحاطة بهذا العلم الأخّـاذ، ألا وهو الجيولوجيا. وإذا استطاع هذا التصنيف أن يستثير، فضلاً عن ذلك، بعض المواهب، فمعنى ذلك أنه قد لعب دوره على الشكل الأفضل.

مقدمة الطبعة الرابعة

ومرة إضافية أخرى كانت دهشتنا كبيرة من رؤية هذا الوجيز المتواضع وهو ينفذ من المكتبات خلال فترة تقل عن أربعة أعوام، فكانت الطبعة الجديدة، التي نقدمها، نتيجة ذلك، غنية عن تغييرات ذات بال. ولم يكن ما يستحق الذكر سوى بعض التصويبات في لائحة التأريخ الأرضي في الصفحة ٣٣ والشكل ٢٩٥ المتعلق بتوزع الرسوبات في المقعر الأرضي النموليتي وتصحيحات طفيفة في النص.

وبالمقابل تعرضت قائمة المراجع في نهاية المؤلَّف لتكملة سخية حسب المبادئ التي تقيدنا بها منذ إصدار الطبعة الأولى في عام ١٩٤٧ .

مقدمة الطبعة الثالثة

لقد كان العرض المباشر لهذه الطبعة الثالثة من «الوجيز في الجيولوجيا» الذي قد يثير الاستغراب، كان مفروضاً علينا حقاً نظراً لنفاذ الطبعة السابقة، في زمن قياسي، وإلحاح جمهور مفتون، أكثر فأكثر، بجاذبية وبنجاحات هذا العلم الناشئ.

ولهذا السبب فلم يطرأ على النص تعديل كبير باستثناء بعض الإضافات أو تصحيحات أسماء بعض القواقع. وعلى الرغم من النمو السريع في مختلف فروع الجيولوجيا، فإننا لا نرى بعد أن الوقت قد حان للقيام بتنقيح بعض فصول الكتاب، تنقيحات قد تجعلها بعض الاكتشافات الحديثة ضرورية والتي لا يزال من قبيل الحذر والاحتياط انتظار التحقق الكامل.

وقد كانت الروح التي هيمنت على تصميم هذا «الموجز» تتعارض، من ناحية أخرى، مع الإسهابات التعميمية الموسعة والتي نعثر عليها، فعلاً في المطولات الكبيرة المعدّة لذوي الاختصاص والتي نشرت أو قيد الطبع. وعلى كل حال، لنتقدم للقول، وذلك للمرة الأخيرة، أن كل ما يتعلق بالقارة الإفريقية، وعلى وجه التحديد افريقيا الشمالية، فإن من الممكن الاعتماد على المطبوعات الغزيرة التي نشرت بمناسبة المؤتمر الجيولوجي التاسع عشر في مدينة الجزائر في عام ١٩٥٢.

وبالمقابل فقد كان من المستطاع إكمال قائمة المراجع حسب فروع هذا العلم في نهاية هذا الكتاب، عن طريق إدماج أكثر المطبوعات أهمية، والتي ظهرت منذ ١٩٥٥، وعلى الأرجح المراجع المخصصة للأفكار الجديدة التي قمنا بالتلميح إليها، وبإرفاقها، عند الحاجة، ببعض الشروحات. ولما كان المؤلّف جيولوجياً ألبيّاً، فهو يسأل المعذرة لأنه منح مكانة مرموقة للمراجع المتعلقة بجبال الألب الفرنسية. فقد حققت معرفتها الجيولوجية، وكذلك معرفة جبال الألب السويسرية، والإيطالية التي تشكل امتداداً لها، ولا تزال تحقق تطورات مشهودة يجب أخذها بعين الاعتبار. وتبدو دراسة جبال الألب التي يتضافر فيها كل من الستراتيغرافيا والتكتونيك، كما سبق لي ونوّهت بذلك، عبارة عن خلق مستمر، هو مثار اهتمام جيولوجيي العالم قاطبة. ألم يسبق القول بأن لكل جيولوجي وطنين، وطنه وجبال الألب.

وسيكشف التوجّه الجديد لبعض مسائل الجيولوجيا الألبية، بالإضافة إلى ذلك، أن الحلول التي طرحها مختلف الباحثين تبدو أحياناً متناقضة أو لا تكون دائماً متّفقة مع الحلول المتبنّاة في هذا الكتاب والتي يُنظر إليها على أنها كلاسيكية. ولكن بما أن هذا الكتاب معدّ ومهيأ، مبدئياً، للجيولوجيين الميدانيين الناشئين فقد رأينا أن من المفيد أن نكشف لهم، إلى جانب أشكال «عظمة» مهنتنا، عن مظاهر «عجزها» كي يستطيعوا أن يدركوا، دونما إحباط، أنهم واجدون هنا، أكثر مما هو الحال في العلوم الصحيحة، أن من المتعذر، في كثير من الأحيان، إدراك الحقيقة قبل بذل الكثير من المساعي الطويلة والمتأنّية.

وهكذا وبعد أن ازدان الكتاب بهذه التكملات المتواضعة يأمل المؤلّف في أن يستمر الكتاب في أن ينهض، تجاه الجمهور المثقف وتجاه طلابه، بدور التلقين والتدريب بل وحتى بدور رسالة والذي كان هو دوره الجوهري عند تدبيج صفحاته.

مقدمة . معلومات عامة

تعريف الجيولوجيا وتقسيماتها
اعتبارات عامة عن منشأ الأرض، تركيبها وتاريخها

١ ـــ تعريف الجيولوجيا وتقسيماتها

تدرس الجيولوجيا المواد المؤلّفة للقسم الذي يلاحظ من الكرة الأرضية، وكذلك النظام الموزّعة فيه هذه المواد في الزمان والمكان. فغايتها الرئيسة هي تاريخ الأرض.

وقليلة هي العلوم التي لها مجال عمل واسع بهذا المقدار، ولهذا فإن الجيولوجيا، نظراً لاضطرارها اللجوء إلى جميع بقية العلوم تقريباً، لم يتوطّد قدمها كجسم لعلم قائم بذاته إلّا مؤخراً، في بداية القرن التاسع عشر، أي بعد المينيرالوجيا والكيمياء.

إنه علم مثير وجذّاب، لم يتأخر عن اللحاق بالركب بجرّه إلى فلكه عدداً كبيراً من الباحثين، فتطوره حصل إذاً بشكل سريع إذ أصبحت له الآن علوم جيولوجية وأخصّائيون.

بعض هؤلاء الأخصائيين، وهم الجيوفيزيائيون، منهمكون بخاصة بالبنية الإجمالية للكرة الأرضية، وبالقوى التي تحرّكها. حتى أن علمهم، **الجيوفيزياء** أو **فيزياء**

الكرة، فاز ببعض الاستقلال. ودراسة الحادثات الحالية بقيت لوحدها مرتبطة، تحت اسم **الجيولوجيا الديناميكية**، بالجيولوجيا الكلاسيكية.

وأخصّائيون آخرون أخذوا على عاتقهم فحص الأجسام البسيطة والمركبة فيزيائياً وكيميائياً وهي الأجسام المعروفة في الطبيعة باسم فلزّات Minéraux وأطلق على علمهم اسم **مينيرالوجيا** عندما يقتصر على دراسة الفلزات بعينها (١). واسم **بتروغرافيا** أو **ليتولوجيا** عندما يواجه دراسة الكتل الفلزية أو الصخور التي تنجم بالضبط عن تجمع هذه الفلزات، **وجيوكيمياء** عندما يدرس تاريخ العناصر الكيميائية لكوكبنا.

والاستراتيغرافيا هو العلم الذي يدرس العلائق المتبادلة للطبقات المنضدة التي تؤلف قسماً كبيراً من القشرة الأرضية والتي توضّعت في الأصل على شاكلة طبقات أفقية في وسط المياه. ولكن قد يحدث ألّا تبقى هذه الطبقات أفقية وأن تؤدي حركات أرضية لاحقة لتوضّعها، إلى انتصابها وطيّها أو تصدُّعها. إن الدراسة الخاصة لمختلف العوارض هذه نجدها في **التكتونيك**، وهو علم يدرس، بمعناه الواسعه، جميع تشوهات القشرة الأرضية.

إن دراسة الآثار العضوية، حيوانية أو نباتية، المعروفة تحت إسم مستحاثات Fossiles، وهي التي نصادفها غالباً في الصخور الرسوبية، تؤلف موضوع **الباليونتولوجيا**. هذا العلم يعتبر امتداداً طبيعياً لعلمي الحيوان والنبات، ويمكن ممارسة دراسته إما بهدف نظري، وفلسفي صرف (**باليونتولوجيا تطورية**)، أو بهدف استراتيغرافي، تأريخي عندما يتوجّه إلى المستحاثات التي نقول عنها مميِّزة (**باليونتولوجيا استراتيغرافية**). وتصبح معرفة هذه المستحاثات عندئذ ذات فائدة كبيرة لإعادة ترتيب التنضيد الطبيعي لزمرة من الطبقات مخلّعة تقريباً.

---

(١) إن معطيات هذه المينيرالوجيا الوصفية، علم ملاحظة، هي بخاصة ما يستعمله الجيولوجيون. ولكن، ومنذ بضع سنوات. فإن المينيرالوجيا بتحملها مسؤولية قضية البنية البلورية وبصورة أعم تركيب المادة الفلزية، ارتبطت نهائياً في طريق يؤدي بها إلى الانتماء للعلوم الفيزيائية والرياضية ويبعدها عن العلوم الطبيعية، كما يسمونها والتي تدخل فيها الجيولوجيا.

وأخيراً فإن وصف وجه الأرض الحالي (كالحافّات الخاصة بالبحار وبالقارات، أشكال الأرض، مجاري المياه ...إلخ) هو ما تتفرَّد به **الجغرافية الطبيعية**، علم متحدِّر عن الجيولوجيا ويجهد حالياً للانفصال عنه.

ومن وجهة نظر أخرى، فإنهم يقابلون أحياناً، **الجيولوجيا التاريخية**، التي، باعتمادها على البتروغرافيا والباليونتولوجيا والاستراتيغرافيا، تسعى جاهدة لإعادة عرض تاريخ تحولات الأرض في الأزمان الغابرة، **بالجيوديناميك**، وهو علم الحادثات الجيولوجية الحالية.

ولكن، يتوجب على الجيولوجي، عند إشادته تراكيب كهذه، ألّا يغرب عن باله الأخذ **بقانون الأسباب الحالية** الهام وهو أساسي في الجيولوجيا إذ تكيّفت الكرة الأرضية بموجبه خلال الأزمان المنصرمة حسب الحادثات ذاتها التي تعمل حالياً تحت وقع بصرنا [1].

يمكن تفسير هذه التحولات تصويرياً بخرائط ودراسة الجغرافيات القديمة هي **الباليوجغرافيا (Paléogéographie)**.

غير أن على هذه الجغرافيات المتتالية أن يرتبط بعضها ببعض بشكل متماسك بحيث يمكن أن يصبح الفيلم السينماتوغرافي هنا المعيار الحقيقي لصحة إعادة التشكيلات الباليوجغرافية هذه.

وأخيراً فإن هنالك فرعاً من الجيولوجيا، يجب تجنب إهماله، إذ أنه سبق جميع بقية الفروع، وهو **الجيولوجيا التطبيقية Géologie Appliquée**، أو الاقتصادية. وبالواقع، فإن الإنسان، منذ أقدم المدنيات، بحث عن المواد الفلزِّية المفيدة (مياه،

---

(١) إن هذا القانون، الذي يؤلف مذهب الحينية actualisme، يتقابل منذ أن قامت مطالعات ش. ليل وكونستان بريفو، وبالكارثية catastrophisme لِـ ج. كوفييه المعروضة في كتابه الشهير عن ثورات الكرة الأرضية. وقد سبق لجمس هوتّون أن كتب عام ١٧٨٥ في كتابه، **نظرية الأرض** «الحاضر هو مفتاح الماضي».

فحوم حجرية، خامات معدنية...إلخ) وأن الملاحظات التي تجمَّعت بصبر وأناة خلال هذه البحوث والتحرِّيات، هي التي فتحت الطريق إلى الجيولوجيا النظرية وساعدت بالتالي على ازدهارها.

٢ ـ منشأ الأرض

في أية شرائط، وتحت أية تأثيرات أمكن نشوء الكرة الأرضية التي تحملنا معها في الفضاء؟

كانت فرضية لابلاس العبقرية، الجواب العلمي الأول لهذا السؤال العظيم[١].

فالأرض برأي لابلاس Laplace هي بنت الشمس، وهذا النجم نفسه ناجم عن تكثيف سديم. إن هذا هو التقدير العظيم لمجد هذا العالِم بكونه أول من أوحى بهذا الانتساب.

إننا نعلم اليوم أن السدم، هذه الأجسام الباردة المؤلفة من غازات نادرة «هيدروجين، هيليوم، نيبيليوم[٢]»، والتي ترسم في السماء بقعاً حليبية المظهر، وكروية على الأغلب، قابلة، بتأثير بعض العوامل (كمرور شظايا نجوم تائهة)، أن تتكثف وتتسخن تدريجياً معطية نوايا متوهجة ودوّارة مقدَّر لها أن تصبح نجوماً أو شموساً.

يفترض **لابلاس**، لكي يفسِّر تشكل الأرض اعتباراً من هذه الشموس البدائية، أن حلقات استوائية، يمكن مقارنتها من حيث المظهر مع زحل Saturne أو مع اللوائب التي تحيط ببعض سدم خارج المجرة (شكل ١)، تمكنت بتأثير القوة النابذة، من أن تنفصل دورياً عن هذه الكتلة المتوهجة.

---

(١) إن الفرضية، من جهة أخرى، قائمة بالنسبة لجميع أجسام المنظومة الشمسية وحتى «المجرّة galaxie (منظومتنا الكوكبية)، التي أثبتت الدراسات المطيافية تماثل التركيب فيها مع تركيب الأرض.

(٢) إننا نعلم الآن أن النيبيليوم هو أوكسجين مؤيَّن.

إن التكاثف اللاحق لهذه الحلقات، نفسها، من شأنه إتاحة الفرصة لطلائع مختلف الكواكب، طلائع منشّطة، من قبل بحركة دوران وجذب حول النواة الشمسية الأصلية. ونضيف إلى ذلك أنه أمكن لعملية مشابهة أن تحدِّد، على حساب الأرض، تشكل تابعها، وهو القمر.

فالأرض كانت إذاً في البدء، إحدى هذه الطلائع التي زادت الحركة الدورانية فيها بلا انقطاع نتيجة انكماش، مردّه التبرُّد التدريجي.

تعرضت فرضية لابلاس هذه، التي سادت ردحاً من الزمن، لهجمات انتقادية قاسية، واقتُرحت نظريات أُخرى لتفسير منشأ الأرض. فالعالِم الفلكي الانكليزي جينس Jeans صاغ مؤخراً نظرية على غاية من الأناقة. فالأرض، بالنسبة إليه، هي نجم تائه انتزع من الشمس، بمسّه لها وهي قيد التكوين (تكوين يتبع السيرورة ذاتها التي نوّه بها لابلاس)، وبحادث حقيقي من المد والجزر، بعض أجزاء صغيرة من المادة المنصهرة، التي أعطت بعد تبدّدها في الفضاء مختلف الكواكب السيارة في المنظومة الشمسية.

ومهما يكن من أمر هذه التفسيرات، فإنه يبقى من المؤكد لدينا، أن أرضنا قد مرَّت، في برهة من تطورها، بطور من الحرارة العالية. إن هذا **الطور الكوني** **phase cosmique**، الذي نرجع فيه إلى التخمينات أو الظنون، ويسودنا الاعتقاد بأنه كان طويلاً ومعقداً بشكل غريب، قد انتهى بتماسك نهائي لقشرة خبثّية، غير منتظمة، صلبة ومقاومة. وعلينا أيضاً الإقرار بجهلنا التام لطبيعة هذا الغلاف الأولي الدقيقة. واعتباراً من البرهة التي تمكنت فيها المياه والكلورورات، الموجودة في الجو الأولي بحالة أبخرة، من التكثُّف والمكوث على



شكل ١ ــ **سديم ملولب**.

الأرض مُعطية، على هذا النحو، المحيطات الأولية، بدأ **الطور الرسوبي phase sédimentaire**، ليتابع بحكم مختلف الظاهرات الجيولوجية، حتى العصر الحالي. إن دراسة هذا الطور الرسوبي هي المجال الحقيقي للجيولوجيا.

وتكون النتائج للمنشأ الكوني للأرض على غاية من الأهمية، إذ أنها طبعت كوكبنا بسمات لا تمحى، ممثلة بشكل الأرض نفسها وبالحرارة المركزية. ونتساءل فيما إذا كان علينا العودة إلى هذا الطور لتفسير بعض ملامح التضريس الأرضي، كالأغوار المحيطية السحيقة التي يعزو إليها بعض الجيولوجيين ديمومة طويلة خلال العصور[1].

أ ــ شكل الأرض: ينطوي شكل الأرض، الكروي المفلطح، بالضرورة على أنها كانت بحالة مائعة تقريباً في برهة ما من تاريخها. ولقد استنتج هذا الشكل، الذي يعتبر مميزاً لها، من قياسات أقواس خطوط الطول، وبخاصة من دراسة جاذبية الأرض، وكان هدف هذه البحوث يقوم على معرفة دقيقة لمقاييس الأرض وتشكل الجسم الصلب المشكل بالسطح الوسطي للبحار الذي يفترض امتداده تحت القارات. هذا الجسم الصلب هو مايسمونه بـ جيوئيد (Géoîde)، انه يغض النظر إذن عن حدبات سطح الأرض وتقعّراتها الثانوية.

ولقد أدّت قياسات التوزيع العادي لشدة الجاذبية على سطح الأرض إلى تحديد اتجاه الجاذبية في كل موقع، بطريقة النواس، أي إلى تقدير الخط العمودي الحقيقي الموازي لاتجاه الشاقول لكل من هذه المواقع.

وبما أن هذا الخط الشاقولي عمودي على سطح الجيوئيد فقد تمكنوا من أن يستخلصوا منه شكل هذا الجيوئيد وبالتالي شكل الأرض. وقد بدت هذه الأرض على أنها مجسّم إهليلجي دوراني أي جيوئيد مفلطح حسب محور القطبين. والشيء الجدير بالملاحظة، والذي سنفيد منه فيما بعد، هو أن هذه القياسات أدت إلى صيغة تبين

---

(١) هذه النظرية تتنافر بذلك مع نظرية فيجنر Wegener عن انسياح القارات (انظر فيما بعد، فصل التكتونية العامة).

أن شدة الجاذبية على هذا الجيوئيد، أي على الارتفاع نفسه، لا تتعلق إلا بدرجة العرض فقط.

ب ــ **السخونة المركزية**: والتي أضحت ضرورية بالمنشأ الكوني المسلَّم به للأرض، هذه الحرارة المركزية مؤكَّدة بوجود البراكين من جهة، وبمفهوم تدرج الحرارة الأرضية الباطنية من جهة أخرى.

فالبراكين هي مخارج طبيعية تربط المناطق العميقة من القشرة الأرضية مع السطح. إنها تنفث، تحت وقع بصرنا، كتلاً هائلة من اللابات المنصهرة المبرهنة على وجود «نار مركزية». ومن أكثر الملامح تمييزاً وثباتاً لتاريخ الأرض هو الحادث البركاني، وهناك أجهزة بركانية معروفة في أقدم الأراضي التي أدركتها تحرياتنا.

أما ما يتعلق **بالتدرج في حرارة الأرض الباطنية** أو «**الغراديان الحراري الأرضي**»، فيمكن تعريفه بالعمق الذي يجب بلوغه في الأرض كي ترتفع الحرارة درجة واحدة. وقد برهنت جميع حفريات ما تحت الأرض: سبور، أقنية، مناجم... إلخ، على أن الحرارة تزداد مع العمق. ففي كاليفورنيا مثلاً بلغت الحرارة في قعر سبر عمقه ٤٥٨٦م ١٣٣° درجة. وأعطى سبر آخر عميق ١٤٠° درجة على ٣٠٠٠م. ولكن يتوجب قياس درجة الحرارة الأرضية هذه، اعتباراً من بعض العمق (١٠ إلى ٢٠م)، وفي مناطق لا تتأثر بتغيرات الحرارة الناجمة عن الفصول السنوية أو عن المناخ.

ويمكن بالطبع أن تتحول قيمتها من نقطة إلى أخرى: فهي تتحول بخاصة مع ناقلية الصخور المـخْـتَـرَقَـة، ومع طبيعتها، واتجاه التطبـق والشيستويـة، (Schistosité)، وكذلك مع الحالة التي تكون فيها هذه الصخور مقراً لتفاعلات كيميائية (مثلا: أكسدة بيريت الحديد)، أو لتحولات فيزيائية (انشطار لفلزات ذات نشاط إشعاعي مولِّـد للسخونة).

إن الزيادة لدرجة واحدة تحصل الآن بجوار البراكين، كل ١٠ إلى ١٥م. وكذلك تقريباً بالنسبة للمناطق البترولية حيث يكون التدرج الحراري الأرضي دائماً أقل

من ٢٠م تقريباً. وعلى العكس، فإن هذه المسافة تكون أكبر في المناطق الغرانيتية، البلّورية، أو المتمعدنة. إذ يمكن أن تبلغ فيها ٦٠ وحتى ٨٠م. وتحقق الحد الأعظمي في مكامن الذهب الشهيرة في الترانسفال، حيث يتوجب التعمق إلى أكثر من ١٢٠م للحصول على زيادة درجة واحدة في الحرارة في الصخور الرصيصية (الكونغلوميراتية) القبكامبرية التي تحتوي على المعدن الثمين[١].

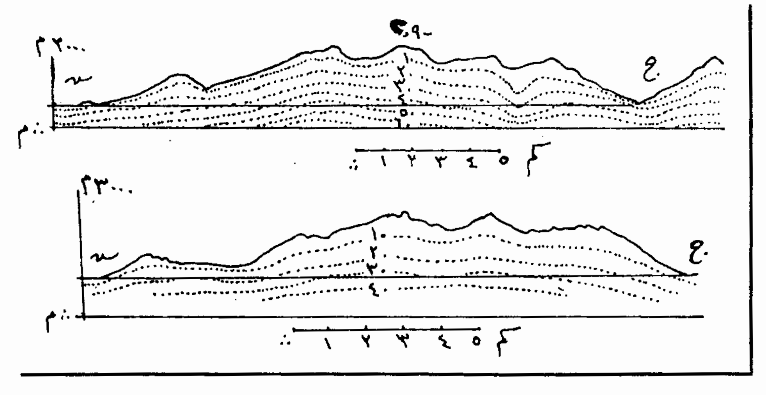
هذا ويمكن التسليم بقيمة وسطية للتدرج في الحرارة الباطنية أو الأرضية بحدود ٣٠ إلى ٣٥م، مما يفضي بها إلى حرارة ٢٠٠٠° مئوية تقريباً بحدود عمق ٦٠ كم، وكل شيء في هذا العمق ينصهر[٢]. ومن الجدير بالملاحظة، أنه رغم هذه السخونة المركزية، فإن تدفق السخونة الحالي، من المركز نحو السطح، ضعيف للغاية. ومع هذا فإنهم يقـدّرون أن حرارة المياه، في الحفر المحيطية الكبيرة، بخاصة إلى القرب من الفيليبين حيث يصل العمق إلى ١٠٠٠٠م تقريباً، تبلغ حداً شاذاً في الارتفاع، مردّه إلى تسخين مباشر بالحرارة المركزية.

ولقد لاحظوا بعض الشذوذات في تدرج الحرارة الباطنية وذلك في غضون نقب الأنفاق الكبرى العابرة لجبال الألب. ففي سان غوتار ومون سينيس Saint-Gothard et Mont-Cenis، لاحظوا أن سطوح المتساوي في الحرارة، أو **«الإيزوجيوترم»** تكون غير متوازية مع المجسم الإهليلجي الأرضي، وأن هذه السطوح تتبع بشكل إجمالي هيئة سطح الأرض، محددة على هذا النحو حرارات مختلفة قليلاً عن تلك التي نحصل عليها حسابياً مع أخذنا بعين الاعتبار التدرج الحراري الأرضي الوسطي (شكل ٢).

---

(١) وهذا ما يسهّل من جهة أخرى متابعة الاستثمار العميق الذي لا مندوحة عنه في هذه الحالة.

(٢) تبلغ حرارة انصهار الغرانيت مثلاً ١٢٠٠°.



شكل ٢ ــ خطوط تساوي الحرارة الأرضية للأنفاق.
سامبلون (إلى الأعلى) وسان غوتار (إلى الأسفل) (عن هايم).

غير أن الحرارة الملاحظة، في نفق السامبلون، كانت أعلى بكثير مما كان يتوقع، فقد بلغت ٥٥° بدلاً من ٤٢° المرتقب بلوغها في الكيلومتر الثامن. وقد وضعت هذه الشذوذات على عاتق تدفقات هامة من مياه معدنية بالإضافة إلى النشاط الإشعاعي للصخور البلورية المخترقة، من المعلوم، بالواقع، أن الأجسام ذات النشاط الإشعاعي تنشطر باستمرار محدثة أجساماً أخرى ذات فعالية إشعاعية مع هيليوم وانطلاق سخونة، من شأنها المحافظة على السخونة المركزية وبذلك إطالة دور تبريد الكرة الأرضية [1]. ومما لوحظ أيضاً حدوث تحولات تصل أحياناً إلى الضِعْف حسب اقتراب اتجاه الطبقات من الوضع الشاقولي تقريباً.

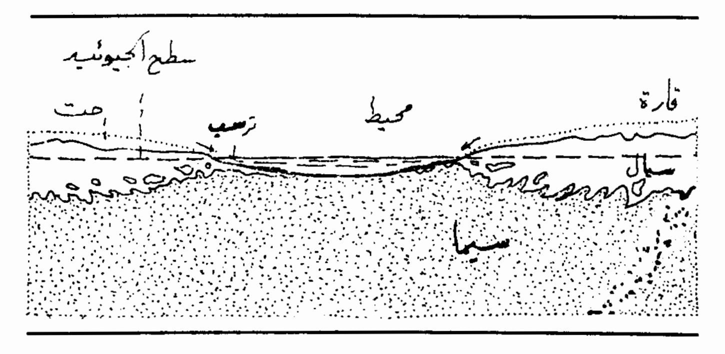
٣ ــ التركيب العام للأرض

يمكن استنتاجه من عدد من المعطيات النظرية ومن ملاحظات سندرسها على التتالي:

---

(١) يظهر أن أهمية هذا العامل ليست كبيرة، بالقدر الذي افترضوه. وبالواقع فإن الحساب يثبت ضرورة وجود كتل هائلة من الصخور المشعة للتوصل إلى تعديل محسوس في تدرج الحرارة الأرضية.

أ ــ **مبدأ التوازنية isostasie** : إن الأرض بمجملها ، عبارة عن جسم صلب مؤلف من مواد فلـزِّية غير متجانسة ، وهي بالتفصيل ذات شكل غير منتظم إطلاقاً . ولهذا أمكن التفكير بادئ ذي بدء بأن سطوح تسوية الجاذبية يجب ألّا تكون دوائر متصندقة بانتظام . وإن شدة الثقالة قد تتحول كثيراً حسب النقاط المأخوذة بعين الاعتبار . والحقيقة تظهر أن لا شيء من ذلك ، وأن هذا التحول المقاس بطريقة النواس ، كما رأينا ، خاضع بشكل رئيسي ، كما يبدو ، لخط العرض . والواقع ، إن كثافة البحر ضعيفة والقارات تتحمل كتلاً جبلية جسيمة . وعدا عن ذلك ، فإن التوازنات المكتسبة هي عرضة تدريجياً للاختلال بفعل كل من الحت والترسب (شكل ٣) . ومن ثم ، ولتفسير التنظيم الإجمالي لتوزيع قياسات الثقالة ، فإنه يتوجب بالطبع إقامة توزيع للكتل ، في الأعماق ، تحت الكتل القارية والحفر المحيطية ، يحقق توازناً لنقصانات الجذب أو زياداته الناجمة عن وجود البحار والجبال(١) .



شكل ٣ ــ **تركيب القشرة الأرضية حسب فرضية توزيع الكتل التوازنية (isostasique)** .

وبتعابير أخرى ، فإنه يجب أن تتوفر ، تحت الأغوار المحيطية ، كتل من أعلى الكثافات(٢) ، أو تجمع لمواد أكبر من تلك الموجودة تحت البثوق القارية .

وتستدعي وجهات النظر هذه إذاً اللزوجة الإجمالية للنطاقات العميقة من الكرة

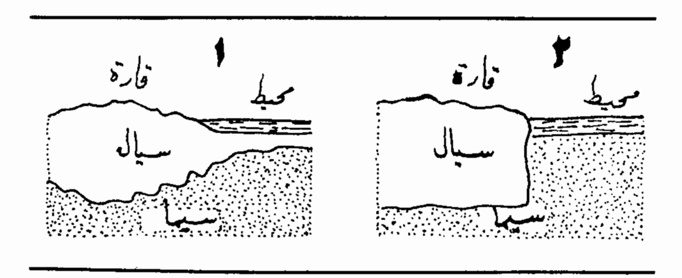
(١) يقدرون إمكانية تحقق التعويض في طبقة سماكتها ٣٠٠ كم تقريباً .

(٢) هذا ما أثبته ، على ما يبدو ، جرف الأنقاض الذي تم في القيعان المحيطية الكبرى التي أخرجت للسطح صخوراً أساسية أثقل بوضوح من الصخور التي تؤلف الركائز القارية .

الأرضيـة ، وهـي المناطـق التـي يتـوجب على الـقشرة السطحيـة ، المثبتـة بتـوازن هيدروستاتيكي ، أن تعوم عليها بشكل ما .

ويتوجب أيضاً على هذه القشرة القدرة على التواؤم عند انقطاعات التوازن ، فهي إذاً مرنة وقابلة للتشوه : وبهذا تفسر بعض الحركات الشاقولية للركائز القارية المسماة ، بسبب ذلك ، بالحركات التوازنية[1] mouvements isostatiques .

وقد نقحت فرضية التوازنية التي أصدرها برات Pratt عام ١٨٦٩ تقريباً [2] ، من قبل هايفورد Hayford عام ١٩٠٩ . ولكن منذ عام ١٨٥٥ اقترحت فرضية أخرى لآري Airy ، شبهت القارات بأرماث شاسعة ، عائمة بحرِّيَّة على المهل اللزج ، فالقشرة الأرضية يفترض أن تكون هنا ، إذاً ، أكثر سماكة وأقل كثافة تحت القارات مما هي تحت البحار حيث تصبح هذه الأوضاع معكوسة تماماً . وهذه الفرضية الأخيرة هي التي حازت في عام ١٩١٢ ، على تطبيق حاذق في النظرية الشهيرة للجيوفيزيائي آ . فيجنر A. Wegener عن منشأ القارات وانسياحها (انظر فيما بعد) ، مقارناً إياها بجبال جليدية هائلة غائصة ، في المهل اللزج (**سيما** سويس ، انظر فيما بعـد) (شكل ٤) .



شكل ٤ ــ نسب القارات (سيال سويس) والمهل اللزج (سيما سويس) في فرضيتي آري (1) وفيجنر (11) .

(١) من المؤكد أن الركيزة الاسكندينافية أُجبرت على الهبوط تحت الثقل الهائل للجليديات الرباعية . وفي أيامنا هذه ، فإن هذه الركيزة ، وقد تحرَّرت من الجليد ، أخذت بالنهوض بالمعدل المقاس بمتر في كل قرن . ومن الضروري حصول انخفاسات مشابهة في الحفر البحرية نتيجة التكـدُّس المستمر للرسوبات أي الانكباس .

(٢) وذلك على الشكل التالي : « تكون الكتلة هي نفسها في جذوع من المخاريط تكون ذروتها في مركز الأرض ومتصلة بالسطح ، بغض النظر عن الشذوذات المحلية » .

وعلى كل حال، فإن دراسة القيعان المحيطية الكبيرة، أظهرت تماماً، على ما يبدو، أن أرضية المحيط الهادي Pacifique مؤلفة برمتها تقريباً، من صخور سيمية، صلدة نوعاً ما، بينما قاع المحيط الأطلسي والهندي مؤلفان بخاصة من سيال مرقّق.

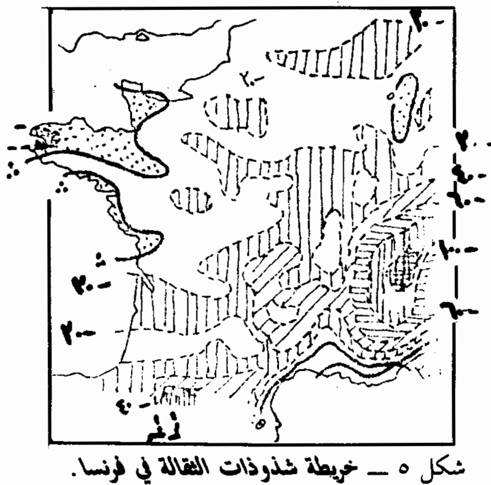
وإذا كان التوزع الإجمالي لقياسات الجاذبية ينمُّ عن انتظام وعن توازن إيزوستازي (تضاغطي) حقيقي للقشرة الأرضية. فإنه يتوجَّب مع ذلك ملاحظة ما أظهرته دراسات فينينغ مينسز Venning Meinesz من وجود نطاقات متطاولة من **عدم توازن إيزوستازي** في بعض مناطق من القشرة الأرضية، تنطبق على انخفاسات حديثة من هذه القشرة، مترافقة بالواقع مع عمليات بركنة وزلازل.

لذا يتوجب الإقرار بأن المجموعة المؤلفة من السيال (ك = ٧ر٢) والسيما البلّوري (ك = ٣) تعوم بالتوازن الهيدروستاتيكي، على سيما زجاجي ولدن، تصبح فيه الكثافة الوسطية مساوية لـ ٣ر٣ تقريباً. وتظل الطبقة العائمة مع ذلك محافظة على مرونة كافية، تمكنها من التواؤم بالتخلّع أو التشوه فوق السيما الزجاجي الذي أصبحت بعض أقسامه ذات حركية ناجمة عن تيارات الحملان courants de convection.

وكما سنراه فيما بعد، هذا هو منشأ مفهوم حديث لتشكل الجبال، جذّاب للغاية (دالي، اومبغروف Daly, Umbgrove). ويتوجب علينا أيضاً الإشارة إلى وجود شذوذات يقال لها محلية، تحدد على الجيوئيد حدبات وتقعرات صغيرة لا تبتعد أبداً أكثر من ٢٠٠م عن المجسم الإهليلجي النظري.. إن هذه الشذوذات المحلية في التوزيع للكتل الفلزية لباطن الأرض، هامة جداً بالنسبة للجيولوجي، إذ أنها سوف تنمُّ عن عدم انتظام في طبيعة الكتل الفلزية وارتصافها والتي تشكل الأقسام العميقة من القشرة الأرضية.

هذا وبمقدور شذوذات الجاذبية تعريفنا إذاً على بنية القشرة الأرضية العميقة. وهكذا يقدّر ج. يونغ J.Jung، أثناء تفسيره النتائج الحديثة لقياسات الجاذبية، أن جيولوجية فرنسا العميقة، تقع تحت سيطرة خط تخلّع كبير، ممتد من بلجيكا إلى

اللانكدوك ، خط يكون الشذوذ ، إلى الغرب منه ، سالباً (نقص للكتلة بالعمق) . بينما يصبح موجباً إلى الشرق (زيادة في الكتلة) ، ويتحقق تكافؤ الشقتين المحددتين على هذا النحو بانهيار في الشرق وصعود في الغرب . ويبدو أن هذا ماتثبته الملاحظة الجيولوجية السطحية [1] (شكل ٥) . وتؤدي دراسة شذوذات الجاذبية في السلسلة الألبية ، برأي هذا الجيولوجي نفسه ، إلى تصور تخطيطي إجمالي بنيوي للسلسلة مختلف عن التصور المقترح من آ . آرغان فالجيوفيزياء تشير بالتأكيد إلى أن الاضطرابات العميقة تقع تحت السلسلة وأن الانسكاب التماسي لأغشية الجرف هو حادث سطحي نسبياً ، وهذا مايتوافق مع الأفكار التكتونية الحالية عن جريان الطيات بالثقالة .



شكل ٥ ـــ خريطة شذوذات الثقالة في فرنسا.

(شذوذ بوغر ، حسب غوده Gouday) .

وقد سبق لـ آ . هايم Heim أن اعتمد منذ عام ١٩٠٧ على قياسات شدة الجاذبية في جبال الألب السويسرية ليبرهن عن جرف كتل ماقبل الألب الجبلية . وبرأي هذا الجيولوجي ، هناك فائض من الكتل تحت الجبال الأصلية المكانية autochtone الأكثر قرباً من الكتل الداخلية الثقيلة ، ونقص تحت الجبال الغطائية التي أحدثت ، بثقلها ، غوصاً محلياً مع الطرد الجانبي للكتل المهلية اللزجة .

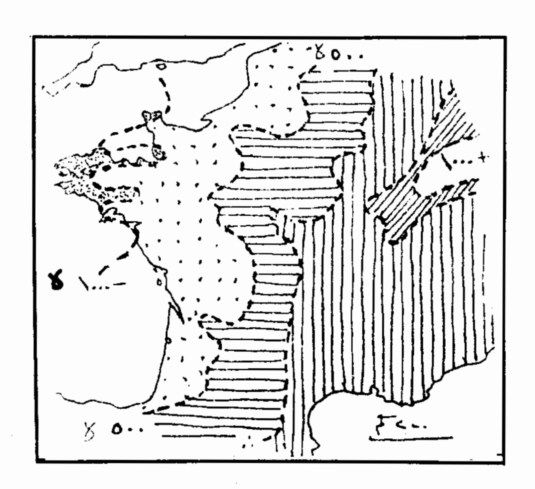
---

(١) وستقود دراسة شذوذات المغناطيسية الأرضية إلى نتائج من نفس النسق . (شكل ٦) . انظر ج . يونغ ، **الجيولوجية العميقة لفرنسا حسب الشبكة المغناطيسية الجديدة وقياسات الثقالة** (حوليات معهد فيزياء الكرة الأرضية . XI ، ١٩٣٣) .

ومع هذا فإننا نعترف بأن النتائج التي تقدمها هذه الطرائق، المنوطة بقياسات الجاذبية كما يسمونها gravimétriques، ما تزال جد متناقضة وأنها تتطلب في تفسيرها حذراً متناهياً.

وقد اكتسبت هذه الأبحاث اندفاعة كبيرة حالياً، وذلك بفضل أجهزة متناهية في الدقة، كميزان إيوتفوس Etötvös الإنبرامي أو الجهاز الأسهل استعمالاً، دون أن يكون أقل دقة منه، لهولويك ولوجي Holweck et Lejay، واكتسبت هذه الأبحاث ازدهاراً كبيراً. ويبدو أن نجاحاتها ترسخت في المجالات العملية: كالتنقيب عن الكتل الفلزية العميقة المرتفعة الكثافة مثل المكامن الفلزية، والبحث عن الحوادث التكتونية (وبخاصة الفوالق) المعكّرة لانتظام بعض المكامن، وذلك رغم وجود صعوبات لا جدال فيها.

ويبقى من الضروري دائماً توضيح نقاش النتائج باللجوء إلى معطيات الجيولوجية العادية. فالدراسة الجيولوجية الدقيقة للأرض يجب إذاً أن ترافق التنقيب المنوط بقياس الجاذبية.



شكل ٦ ــ خريطة الشذوذات المغنطيسية الكلّية في فرنسا.

(حسب ج. يونغ). الشذوذات موجبة في كل الجنوب الشرقي، وفي ذلك دليل ترقق القشرة في هذه المناطق؛ أي والحالة هذه، سرعة عطبها.

ب ــ **كثافة الأرض**: تبدو هذه الكثافة، المستخلصة من الوسائل الفلكية، مرتفعة للغاية: ٥ر٥. فهي إذاً أعلى من كثافة بقية الكواكب السيارة [1]. هذا، ويكون لصخور القسم السطحي من القشرة الأرضية، الذي يسهل علينا بلوغه، كثافة بحدود ٥ر٢ إلى ٥ر٣، وكثافة البحار، من جهة أخرى، لا تزيد عن واحد كثيراً وكثافة الطبقة الجوية ضعيفة للغاية.

وهكذا نكون مدفوعين إذاً للتفكير بأن الكثافة الوسطية للمناطق المركزية من الكرة الأرضية، يجب أن تكون مرتفعة للغاية، مما يفسح المجال لفرضية نواة مركزية مؤلفة من مواد ثقيلة، قد تكون معدنية احتمالاً.

ويبدو أن وجود المغناطيسية الأرضية، كما أن دراسة النيازك (أنقاض نجوم متشظية)، يدل بالتأكيد على أن هذه النواة يجب أن تتألف من معادن كثيفة جداً كالحديد والنيكل، تلك المعادن نفسها التي تؤلف هذه النيازك حصراً.

جـ ــ **الزلازل**: يطلقون اسم زلازل على الاهتزازات المتحولة السعة التي تهزُّ القشرة الأرضية في كل وقت. ويمكن تسجيلها بواسطة مسجلات الاهتزاز (سيسموغراف séismographes) وهي أجهزة مبنية على مبدأ عطالة رقّاص ساعة ثقيل. هذا ولا نشعر ببعض هذه الهزّات، وهي الهزّات المجهرية، غير أنها مع هذا قابلة للتسجيل على مسجلات الزلازل، والقسم الآخر؛ أي الهزّات الجهرية Macroséismes يؤلف الزلازل les tremblements de terre، وهي استثنائية لحسن الحظ ومقتصرة على بعض المناطق (اليابان، جنوب إيطاليا... إلخ)، وهي التي تدركها حواسنا تقريباً وتكون في غالبيتها كارثية.

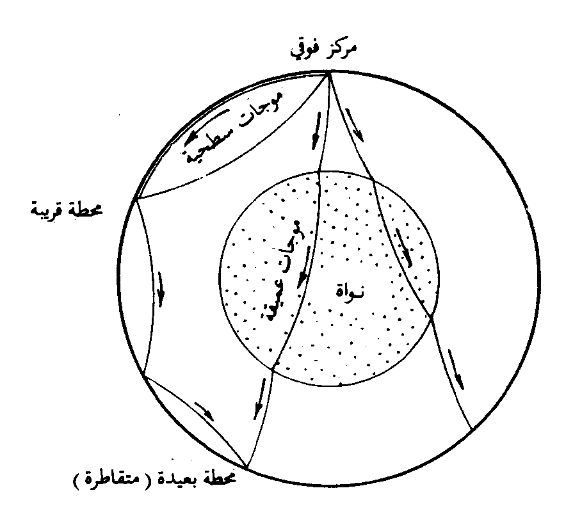
وقد ساعدت دراسة انتشار هذه الهزات الجهرية على الوصول إلى بيّنات هامة عن التركيب العميق للكرة.

---

(١) إذا أخذنا كثافة الأرض وحدة للقياس، فإن كثافة بقية السيارات هي: ١١٦ر٠ (زحل Saturne). ٢٣ر٠ (المشتري Jupiter). ٣٩ر٠ (أورانوس Uranus). ٤٣ر٠ (نبتون Neptune). ٦ر٠ (القمر Lune). ٧٣ر٠ (المريخ Mars).

وتتمـخَّـض الاهتزازة الزلزالية، المنطلقة عامة من عمق ضعيف من القشرة الأرضية أو من مركز الزلزال Hypocentre ، أقول تتمـخَّـض سطحياً اعتباراً من نطاق يبلغ فيه مفعول الهزة حده الأعظمي، ويسمى بالمَركز السطحي Epicentre ، عن عدة زمر لموجات متتالية وذلك وفاقاً لقوانين المرونة (شكل ٧) .

لنتصور وجود مراقب واقف على متقاطري [١] المركز السطحي لزلـزال ما، ولنتأمل في سلسلتي الموجات الأعظمين : التي تنتشر على سطح الأرض (ذبذبات عرضانية بالنسبة لعلماء الزلازل) والدفعة التي تخترق مباشرة الأقسام المركزية من الكرة (اهتزازات طولانية) . فنلاحظ أن زمرة الموجات العميقة هي تماماً أسرع من الدفعة السطحية : فتتراوح سرعة الانتشار بين ٥ و ١٣كم بالثانية في الحالة الأولى، بينما هي من ٨٠٠ ــ ٢٠٠٠م على الأكثر في الحالة الثانية .



شكل ٧ ــ انتشار الهزات الأرضية
زمرة دفعة الموجات الرئيسة ممثلة بأسهم .

وهكذا يجري كل شيء كما لو كانت الأرض مؤلفة من طبقات متصندقة ومنتظمة نوعاً ما، تتحول خصائصها فجأة عند المرور من طبقة إلى أخرى . ولكن

(١) أجزاء واقعة على الجهة المقابلة من الكرة الأرضية antipode .

يجب أن تكون الأقسام العميقة من الأرض، لكي تسهّل دفع انتشار الموجات على هذا النحو، متجانسة للغاية وذات صلابة متناهية على وجه الاحتمال. وبالواقع فإن الحساب يظهر أن صلادتها الوسطية أكبر من صلادة الفولاذ بمرتين ونصف تقريباً. ولقد افترضنا، فيما قدمناه أعلاه، أن هذه الأقسام يجب أن تشغلها نواة مؤلفة من حديد ونيكل. ولكن لا يمكن، بحال من الأحوال على الأرجح، نظراً للشرائط الفيزيائية الكيميائية السائدة في مركز الأرض (حرارة، ضغط)، الإفصاح عن الحالة التي يجب أن تكون عليها هذه الأجسام.

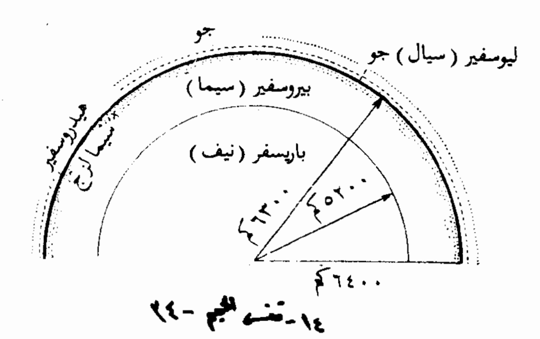
وبالاختصار، فإن دراسة علماء الزلازل، تقودنا إلى تصوّر الكرة الأرضية كأنها مؤلفة من ثلاثة نطاقات رئيسة: طبقة سطحية أو **قشرة croûte** تغطي **نواة noyau** داخلية صلبة حاوية على **بذرة graine**، وبين النطاقين بيئة وسيطة هي **الغطاء manteau**. ويقدّر قطر النواة المركزية بحوالي ٦٠٠٠ كم تقريباً (ما يعادل نصف قطر الأرض)، ويكون للقشرة السطحية سماكة مقدارها مئة كيلومتر تقريباً.

وهنا، وكما هو الحال بالنسبة لقياسات جاذبية الأرض، فإن دراسة انتشار الزلازل، قد يفيد منها محلياً الجيولوجي لمعرفة بنية باطن الأرض. ويختلف هذا الانتشار باختلاف طبيعة الأرض الباطنية وأوضاعها العامة (ميل، اتجاه...إلخ). ويمكن حساب سرعته، إذا علمنا كثافة البيئة وخصائص مرونتها. وهكذا فسرعة الموجات هي بحدود ٥ كم/ثا في الغرانيت و ٢ كم/ثا في الصخور الكلسية. ويحدثون، لهذا الغرض، زلازل اصطناعية (بواسطة متفجرات)، تسجّل ذبذباتها من قبل مسجلات الزلازل séismographes، موضوعة في أمكنة مناسبة ويجري التسجيل في أوقات محددة تماماً. وتسمح السرعة المتفاوتة في انتشار الموجات، بأخذ فكرة عن البنية العميقة للمنطقة التي يجري التحرّي فيها [1].

---

(١) نذكّر بأن نصف قطر الكرة الأرضية بحدود ٦٣٠٠ كم تقريباً. فالطريقة الاهتزازية، مضافة إلى طريقة قياس الثقالة، التي بحثت أعلاه، وأيضاً إلى الطريقة الكهربائية، كما يسمونها والمبنية على ناقلية مواد الأرض، حيث تكون مقاومة مرور التيار متحولة (يرسلون تياراً في الأرض ويدرسون الظاهرات التي يثيرها فيها) وجميع هذه الطرائق تشكل بالنسبة للجيولوجي المنقّب وسيلة قوية للبحث، ومتطورة بنجاح حالياً، وكثيرة الاستعمال منذ زمن في ←

د ــ فكرة عن البنية الإجمالية للكرة الأرضية : نملك الآن عدداً من المفاهيم التي تجيز لنا اقتراح فرضية عن بنية الأرض . (شكل ٨) .



شكل ٨ ــ **فرضية سويس** Suess عن تركيب الكرة الأرضية. تكون سماكتا الغلاف الجوي (١٠٠ كم) والغلاف المائي (٤ كم) مبالغ فيهما كثيراً.

نعلم الآن أن الكرة الأرضية مؤلفة من تتالي غلافات أساسية مختلفة عن بعضها في السماكة والطبيعة ، تغلّـف نواة مركزية . لنترك جانباً الغلافين الجوي والمائي (مع ما يحويه كل غلاف من عالمه من الأحياء أو الغلاف الأحيائي) حتى نحصر اهتمامنا بالأغلفة الصلبة .

فالجيولوجيا تجعلنا على اتصال مع القسم السطحي من القشرة الأرضية . وهذه مؤلفة بخاصة من صخور خفيفة . (مثلاً : غرانيت ، غنايس ، ميكاشيست) غنية بالسيليس والألومين[1] .

هذا ماسمَّـاه الجيولوجي سويس بـِ **سيال Sial**[2] أو نطاق سالي salique ، ويطابق أيضاً الغلاف الصخري ، أي القشرة الحجرية ، مجال عمل الجيولوجي ، التي تتراوح كثافتها بين ٢٫٧ و ٣ . هذا الغلاف الصخري رقيق للغاية بالموازنة مع

ميدان الصناعة J.Lacoste **Revue de séismologie** (Rev.gén. des Sc, 30,11,1935) -BRAZIER. **La Séismologie et ses possibilités actuelles** (Sciences. A.F.A.S. août-septembra, 1938 P.151)

(١) لنقل من الآن أن الصخور الخفيفة أو الحمضية هي غنية بالسيليس ، وتتنافر مع الصخور الثقيلة أو الأساسية الفقيرة نسبياً بالسيليس والصخور الحيادية تأخذ مكانها بين هذين الطرفين الحدّين . ويمقابل هذه الصخور البلورية ، كما يسمونها والتي يظهر فيها تأثير الحرارات المرتفعة ، نجد الصخور الرسوبية . وهي لم تدخل هنا في الحسبان ، لأنها لا تتداخل في تركيب القشرة الأرضية إلّا بنسبة ٥٪ تقريباً .

(٢) من ، Si و Al وهما المقطعان الأوليان لكلمتي سيليسيوم ، ألومينيوم . والشيء نفسه يتكرر للألفاظ التالية : سيما ، نيفه (مغنيزيا ، نيكل ، حديد) Sima, Nife .

الغلافات الأكثر عمقاً. وقد مر معنا أن سماكته بحدود ١٠٠ كم. حتى أن بعض المؤلفين، بالإستناد إلى دراسة الاستحالة، والتدرج «الغراديان» الحراري الأرضي، وعلى وقائع تجريبية منوطة بالانصهار وبمقاومة الصخور الاندفاعية، ويذهبون إلى أن سماكتها يجب ألّا تزيد عن بضع عشرات الكيلومترات (من ٢٥ إلى ٥٠ كم).

وتتعرض القشرة الأرضية لاجتياح الزلازل باستمرار، ومن النادر أن تكون قابلة للتشوّه، كما سبق وذكرنا أعلاه.

ويأتي تحت هذا النطاق السالي، نطاق مؤلف من مواد أثقل من تلك وأساسية متميزة بوجود مغنيزيا، إضافة إلى السيليس (بازلت، بيريدوتيت). إنه نطاق **سيما** سويس **Sima**، أو النطاق السيمي أيضاً. ويطابق إجمالاً بيئة وسيطة. ونعرف صخور هذا النطاق، من البراكين، التي تلفظ على السطح الصخور المذكورة مخترقة الغلاف الصخري «ليتوسفير»، بصورة دورية، أثناء تطور الأرض وحتى في يومنا هذا. وتبلغ كثافة هذه الصخور الوسطية ٣ تقريباً. وتتصرف جميع هذه المواد كما لو كانت مؤلفة من مائع لزج للغاية وقابل للتشوه مع مرور الزمن حتى من قبل قوى ضعيفة حيث يتوجب على الضغوط أن تتوزع فيه بشكل هيدروستاتيكي. وتتغذى البراكين كذلك في نهاية المطاف من طبقة الانصهار الناري العجينية هذه، مما حدا بتسميتها أيضاً **بالغلاف الناري pyrosphère**. ومن المتوجب على الأرجح، أن يتم التوزّع الإيزوستازي (التوازني أو التضاغطي) للكتل في هذا النطاق السيمي، ولما كانت دراسات الجيوفيزيائيين قد أظهرت أن التعويض يجب أن يتحقق في طبقة سماكتها ٣٠٠ كم تقريباً، فإن من البديهي الرجوع إلى هذا الرقم أو إلى رقم قريب جداً منه لتقدير سماكة السيما اللزجة. ويفكر العلماء حالياً، أن هذه المنطقة السيمية تتعرض لمخض تيارات الحملان، التي تسبب صعود الأجزاء العميقة تدريجياً نحو السطح، ومن هذه الزاوية، كان دور هذه التيارات في نشوء الجبال والبركنة، كما سنرى فيما بعد.

وتقول فرضية فيجنر التي تعرضنا إليها آنفاً (شكل ٤)، أن الكرة الصخرية الصلبة، والمجزأة بالوقت ذاته (ممثلة للقارات)، تعوم بالتوازن الإيزوستازي على السيما

المائع، والمقـدَّر له أنه كان يؤلف قعر الحفر المحيطية الكبرى. وهناك سطح انقطاع كبير يرسم إذاً خط تماس هذين الغلافين الأولين.

وأخيراً سبق لنا أن علمنا أن الأقسام المركزية من الأرض تحتلها حتماً نواة من مواد معدنية ثقيلة للغاية، ذات كثافة وسطية مساوية لـ (١٠) وتركيبها على الأرجح هو تركيب النيازك (٩٠٪ من حديد، ٨ إلى ١٠٪ من نيكل). هذا ما عناه سويس في مصطلحه تحت اسم **نيف Nife**، وهو النطاق النيفي أو **الغلاف الثقيل Barysphère**. وعلى هذا النطاق أن يتصـفّـى تدريجياً وينفث بعضاً من مركّباته عبر الغلاف الناري والغلاف الصخري: بخار ماء، غاز الكربون، كلورورات، هيدروجين، آزوت، هيليوم. وهكذا تفسَّـر المياه الحارة المعدنية التي يسمونها بمياه سويس البكر (؟) (أي متشكلة في الأعماق اعتباراً من عنصري O أو H).

وتتطلب هذه الأفكار، التي ما تزال طبعاً، نظرية بحتة، مراجعات وتحقيقات، وهذا المخطط التصويري schéma يجب ألّا يؤخذ حرفياً، إذ أن بإمكان هذه النطاقات المتتالية أن تتراكب على بعضها محلياً، بحيث تكون، لابات البراكين، التي هي على العموم سيمية، سيالية أحياناً، ونادراً ما تكون نيفية. وهناك من يخمّـن أن نصف قطر النواة النيفية بالمعنى الصحيح قد يصل إلى ٣٣٠٠كم تقريباً وأن نطاق السماكة الكبيرة الذي يحيط بهذه النواة قد يعتبر أيضاً من السيما المشحون بالحديد وله كثافة وسطية مساوية لـ ٦.

ومع ذلك، فإن مما يلفت النظر، ملاحظة كون بنية الكرة هذه على شاكلة نطاقات متصندقة وذات طبيعة متميزة بكفاية، نجدها ثانية في المناطق المرتفعة من الجو أو الغلاف الجوّي حيث أطلعتنا أبحاث الفيزيائيين الحديثين على أن نميز، هنا أيضاً، عدداً من الطبقات المتصندقة (*) ينفصل بعضها عن بعض فجأة تقريباً.

(*) يقصد بعبارة المتصندقة أي المتداخلة في بعضها بعضاً شأن صندوق كبير نضع فيه صناديق عديدة أصغر حجماً ولكن كل واحد ضمن الآخر.

٤ ــ الخطوط الكبرى لتاريخ الأرض

لن نبحث هنا، إلّا في الطور الرسوبي لهذا التاريخ.

فالطور الكوني، كما سبق لنا القول، انتهى بتصلب نهائي لقشرة خبثية سطحية. فبعد تشكل المحيطات الأولى، الناجمة عن طوفانات دورية لمياه مالحة، بدأ الدور الرسوبي المتميِّز بصورة رئيسة، مذ أن أصبحت الحرارة مناسبة، بظهور الحياة، إنه ظاهرة رئيسة وعلينا أن نشير إليها منذ الآن[1].

ويلعب تاريخ تحولات الحياة وتحسيناتها، بالواقع دوراً كبيراً في تهيئة التقسيمات المتبعة من أجل تاريخ الأرض نفسها، إذ أن كلاً من العصور الكبيرة متميز بسيطرة زمرة أو عدة زمر من الكائنات التي يمكن التقاط بقاياها بحالة مستحاثات في الرسوبات المتعاقبة.

وعلى التوازي، نجد مشهد الأرض السطحي، أي الأوساط التي تتطور فيها الحياة تتحول في غضون الأزمان بتأثير ماندعوه بالظاهرات الجيولوجية (حت، ترسُّب، بركنة، تشوهات تكتونية دورية للقشرة)، وهي ظاهرات بطيئة تتعاقب تحت وقع بصرنا وليست أضرارها مرئية إلّا لأنها تمارس عملها منذ فجر الأزمان[2].

من المؤكد إذاً أنه كانت هنالك جغرافيات متعاقبة تؤلف دراستها الباليوجغرافيا، وأن حواشي كل من البحار والأراضي الحالية ليست أبداً مُثْبتة باستثناء

---

(١) فقد أوحى الفيزيائي ادّينغتون Eddington في كتاب حدبث عند تفكيره بمجموعة الظروف السعيدة وتنوعها، التي كان عليها التدخل لتمكين جزيء مشتق من الشمس من أن ينتظم ويتحول لدرجة تسمح للحياة بأن تتولّد، وتتطور بدورها فيه، غير أن سيْرورات كهذه، ما كان لها أن تتحقق كثيراً ويصرِّح بتندرّ (إننا شظية من مادة شمسية تحسن الاستدارة)، مما يعتبر أسلوباً لاستبعاد أو على الأقل لتحديد فرضية تعدد العوالم المأهولة وبأن نسند للأرض، كحاملة للحياة، دوراً بارزاً بوجه خاص.

(٢) نذكّر بأن الفرضية التي ينعتونها (الحيينية) actualisme (Hulyon, Lyell) والتي تضم إليها جميع الأصوات في أيامنا، تتوخى بدقة كون الظاهرات الجيولوجية كانت دائماً هي نفسها في غضون تطور الأرض. فهي تتنافر مع كارثية catastrophisme الجيولوجيين الأوائل وبخاصة كوفييه Cuivier.

بعض ملامح كان لها على ما يظهر شيء من الديمومة (مثلاً: البحر المتوسط القديم، ميزوجيه الجيولوجيين)، وتتخذ من هنا بالذات أهمية من الدرجة الأولى.

ونلاحظ أن فعالية الغلاف الناري، الذي كان تبرُّده أبطأ بما لا يقاس من القشرة الأرضية، تجلَّت هنا وهناك، في غضون الأزمان، إما بتدفق سطحي للابات بركانية، أو بصعود مواد بحالة الانصهار لم تنجح في ثقب القشرة الرسوبية، إنما تقوم بتغيير قاعدتها فقط بالاستحالة، وتأخذ بالتبلور على نطاق واسع في الأعماق لتعطي الصخور الاندفاعية (مثلاً غرانيت). من المهم إذاً ملاحظة أنه أمكن تشكل صخور بركانية واستحالية في كل برهة من تاريخ الأرض.

I ــ التأريخ الجيولوجي

يوجز الجدول التالي التقسيمات الكبرى وأهم السمات المستحاثية للطور الرسوبي للأرض.

ولكي يتكامل هذا الجدول، عليه أن يذكر التقسيمات الفرعية ذات الترتيب الأدنى، كالطوابق الجيولوجية، وهي وحدات مفيدة للغاية واستعمالها شائع في الجيولوجيا، وسيأتي تعدادها فيما بعد (فصل الاستراتيغرافيا).

II ــ تقدير الأزمان المطلقة في الجيولوجيا
عمر الأرض

يشير الجدول الآتي، كما هو تأريخ حقيقي نسبي، إلى ترتيب التعاقب، وعلائق الظاهرات والديمومة النسبية للأدوار الجيولوجية استناداً إلى سماكة الرسوبات المحتملة وهي أيضاً نسبية. فهذا التأريخ لا يهتم إذاً مطلقاً (وهل هو بحاجة؟) لحساب أزمان مطلقة من شأنها أن تقودنا إلى تقدير المدة الفعلية للعصور الجيولوجية وحتى لعمر الأرض.

أحقاب	منظومات		صفات باليئونتولوجية	سماكات نسبية	المدة النسبية
رباعي أو انتروبوزوئيك	هولوسين (حجري معادن) حديث. بليوستوسين (حجري قديم)		ظهور الانسان	٢٠٠م	١ مليون سنة
ثلاثي أو نيوزوني	بليوسين ميوسين	نيوجين	عالم الثدييات	٤٠٠٠م	٢٠ مليون سنة
	أوليغوسين أيوسين	إيوجين أو نموليتي			
ثاني أو ميزوزوني	كريتاسي	نيوكريتاسي إيوكريتاسي	عالم الزواحف و العمونيات	٦٠٠٠م	٣٠ مليون سنة
	جوارسي	أعلى . مالم أوسط . دوّغر أسفل . لياس			
	ترياس				
أولي أو باليوزوني	برمي كربوني ديفوني	Anthracolithique	عالم الأسماك و ثلاثيات الفصوص	٣٠٠٠٠م	٥٠ مليون سنة
	سيللوري كامبري				
	قبكامبري أو آنغونكي[1] آركي قشرة بدائية؟		Agnotozoïque (الأفكيات)	٢٤٠٠م	مدة شاسعة

(١) لقد تكشفت هذه الصخور، في بعض المناطق، حيث لم تتحول كثيراً بفعل الاستحالة (مثال: حافة نهر الكولورادو) عن بقايا مستحاثة عن لا فقريات بدائية جداً (قشريات. رخويات) لا تمثل إطلاقاً بالواقع بدايات الحياة. ومن المرجح أن آثار الكائنات الأولى المتوقع وجودها في أسفل الآلغونكي أو الآركي قد تخربت أبدياً بالاستحالة الشديدة التي اعترت هذه الصخور في سائر الأمكنة.

وقد أثارت هذه القضية، مع هذا، اهتمام الجيولوجيين في جميع الأوقات، غير أن الحل الذي أعطي لها والأكثر تطبيقاً هو حديث العهد. إنه الحل الذي يستخدم ظاهرات النشاط الاشعاعي لفلزات الصخور[1]. وهاكم المبدأ: إن بعض الأجسام، كما علمتنا الفيزياء الحديثة، كالأورانيوم والأكتينيوم والثوريوم ومركباتها، تملك خاصة بث تلقائي، وبصورة دائمة لأشعة غير مرئية. وهذه الأجسام تتحول باستمرار بتحطيم ذراتها معطية الأجسام العديدة ذات النشاط الاشعاعي، وحرارة وذرات غاز نادر، هو الهيليوم. ويقال عنها إنها تتفتت أو تتبـرَّد والشيء الغريب، كون النهاية الأخيرة لتطور زمر الأورانيوم والثوريوم هي نظير[2] الرصاص (isotope). وقد تمكنوا، بشيء من الدقة، من حساب مقدار ما يبثه من الهيليوم وزن معين من الثوريوم أو الأورانيوم في سنة، كما تمكنوا أيضاً من تحديد العدد اللازم من السنين للوصول إلى كمية ثابتة من الرصاص. وإليكم بعض الأرقام:

يطلق غرام من الثوريوم ١ سم٣ من الهيليوم في غضون ٣ ملايين من السنين.

يتطلب غرام من الأورانيوم ٨ مليارات من السنين ليشكل غراماً واحداً من الرصاص الأوراني.

ومع هذا فقد دلَّ التحليل على أن جميع صخور القشرة الأرضية أو الغلاف

---

(١) إن الطرائق الجيولوجية التي تستخدم الزمن اللازم لتوضع سماكة محددة من الرسوبات لا تعطي معلومات دقيقة إلّا في حدود مِـدىً محدودة للغاية، وذلك لرسوبات أيضاً ذات سحنة خاصة ومعلومة المنشأ بالتمام. هذه هي بخاصة ما يتعلق بدراسة الأشرطة الورقية الموسمية (Varves) وهي رسوبات غضارية ناعمة للغاية ومنطقة (طبقات موسمية، غليظة صيفاً وناعمة شتاء). والتي نشأت في البحيرات الجبهية للجمودية الاسكندينافية الكبيرة. وقد تمكن ج. دو جير وتلامذته، بهذه الطريقة (بتعدادهم بدقة عدد هذه الأشرطة) من إحصاء ما ينوف عن ١٢٠٠٠ سنة انصرمت منذ الامتداد الكبير للجمودية البلطية الرباعية. أضيفت إلى هذه الطرائق حديثاً طريقة الراديو ــ كربون أو C^{14} (W.F.Libby)، مبنية على معدل تفتيت هذا العنصر الموجود بكميات قليلة في جميع المتعضيات مجتمعاً مع الكربون العادي. (راجع ل. موريه)، **العلوم الفيزيائية في خدمة ما قبل التاريخ: تدقيق وتعيين تاريخ المستحاثات الرباعية بطرائق الفلور والراديو ــ كربون** (حوليات معهد بوليتكنيك غرينوبل. جزء III، ١٩٥٤ ص٦٣).

(٢) جسم يملك نفس الخصائص الكيميائية لجسم آخر، إلّا أنه يختلف عنه بالوزن الذري.

الصخري لها تقريباً نشاط إشعاعي وبخاصة الصخور الاندفاعية. فإذا أخذنا حالة غرانيت مثلاً، أمكننا إذاً أن نفترض أنه منذ أن تصلّب-هذا الصخر في الأعماق، بدأت كمية المادة ذات النشاط الإشعاعي التي اختزنها، اعتباراً من الكتل النارية المركزية، بالتبدُّد معطية كمية من هيليوم ومن رصاص تراكماً موضعياً. من هذا المنطلق يسهل فهم كون الوجود الآني لجسم مشع مع عناصره المتبقية، في صخر واحد، ويساعد على الحصول على فكرة تقريبية عن أقدميته: وبتعبير آخر، أن النسبة الحاصِلة بالتحليل، تطلعنا، على عمر الفلز الذي هو موضوع الدرس وبالتالي على عمر الصخر الذي تشكل ضمنه.

تضاف إلى هذه الطرائق، المبنية على معايرة الرصاص الأوراني أو الهيليوم، طرائق أخرى، بخاصة الطريقة التي يسمونها بالهالات المتعددة الألوان التي تحيط أحياناً بمحتبسات الزركون في بعض أنواع الميكا. وبالواقع فإن ميكات الصخور الاندفاعية تبدي غالباً، تحت عدسة المجهر، هالات صغيرة ملوَّنة في مركزها بلورة صغيرة من زركون. ومردّ هذه الهالات يعود لانطلاقات الهيليوم الناجمة بفعل هذه الزركونات التي تكاد تكون دائماً تقريباً ذات نشاط إشعاعي. هذا وقد تمكنوا من إحداث هالات ذوات مقاييس وألوان مشابهات انطلاقاً من الفلزات ذاتها، علماً بأن لون الهالات التجريبية وقطرها متناسبان مع شدة الإشعاع ومدته. فيمكن إذاً بالمقارنة مع الهالات الطبيعية، تقدير عمر الزركونات، وبالتالي عمر الصخر الاندفاعي موضوع الدراسة.

وليست هذه الطرائق طبعاً بمنأى عن الأسباب الداعية للأخطاء. وهكذا فإن من المؤكد، فيما يتعلق بطريقة الهيليوم، أن جميع الهيليوم المنطلق لم يدخل في المعايرة، وهناك إمكانية لحصول تسربات، وهكذا تستعمل هذه الطريقة أيضاً لتقدير عمر فلزات التشكيلة الواحدة من الصخر. وفي طريقة الرصاص، قد يحدث أن يختلط الرصاص الأوراني بالرصاص الثوري thorique، وقد يصار عندئذ إلى معايرة رصاص ذي وزن ذري وسط وهو الرصاص العادي. ومع هذا فإن هذه الطريقة تعطي نتائج

رائعة، ومتطابقة من أجل التحقق من معاصرة صخور صادرة من العصور الجيولوجية نفسها على مجمل الكرة الأرضية [1].

أما بخصوص طريقة الهالات المتعددة الألوان للميكات، فإن دقتها أقل من دقة السابقات لأنه من الصعب التحديد الدقيق للنسبة المئوية للزركونات المشعة، والمولّدة للهيليوم المنطلق. ولا مندوحة في جميع هذه الدراسات من استعمال فلزات جافة وسليمة.

وعلى كل حال، وبفضل الأرقام المقدمة من قبل مختلف الطرائق هذه، فإنه يمكن منذ الآن، اقتراح تأريخ مطلق لتاريخ الأرض. وقد رأينا بالواقع أنه أمكن تشكل صخور اندفاعية في كل برهة من الطور الرسوبي للأرض. وإننا نعلم مثلاً بوجود غرانيت آركي وأولي وثاني وحتى ثلاثي لذا تكفي مضاعفة عدد التحاليل لزيادة الدقة في تقدير الأعمار المطلقة [2]. (انظر جدول الصفحة التالية).

ونرى من الآن، أن وحدة الزمن في الجيولوجيا هي المليون من السنين. فيكون الحقب الأولي قد دام إذاً بالإجمال ٣٧٥ مليون سنة تقريباً. والحقب الثاني ١٥٥ مليون سنة، والثالثي ٦٩ مليون سنة والرابعي سبع مئة ألف سنة فقط، وهو تدرج يتطابق تماماً مع ما تطالعنا به الجيولوجيا. فمجمل مدة الأدوار الجيولوجية الأكثر شهرة إذاً تبلغ ٦٠٠ مليون سنة، دون إدخال الدور الرسوبي الكبير الذي انصرم قبل الأولي، والذي يرجح أنه دام، تقديراً، لوحده أكثر من ٣ مليارات من السنين، وهكذا نصل إلى رقم ٣٦٠٠ مليون سنة لطور الأرض الرسوبي، أي للعمر المرجح للحياة. فإذا أدخلنا الآن الطور الكوني الذي ليس لدينا عنه أية توقعات، والذي كان حتماً هائلاً

---

(١) إن الفلزات المختارة لإجراء معايرتها هي: الأورانينيت (أكاسيد أورانيوم) لأنها خالية من الرصاص العادي، لكنها فلزات نادرة نوعاً ما.

(٢) انظر بخصوص مدة الأزمنة الجيولوجية ر. فان أوبل: **النشاط الإشعاعي وعمر الأرض** (المجلة العامة للعلوم ١٥ نيسان ١٩٢٨). و ا. غانييان، **مدة الأزمنة الجيولوجية** (نشرة مخبر الجيولوجيا والجغرافيا الطبيعية. مينيرالوجيا وباليونتولوجيا. جامعة لوزان [سويسرا]. نشرة رقم ٥٢. ١٩٣٤).

في طوله ، فلربما توجب علينا مضاعفة هذا العدد . فالأرض اذن طاعنة بكثرة في السن فهي مسنة لدرجة تجعلنا نتردد معها في تخصيص عمر لها . وتجاه أمثال هذه المدّات ، لا يتراءى لنا تطور الإنسانية إلا بمثابة حادثة زهيدة جداً من تطور كوكبنا .

فالزمن إذاً يجب اعتباره عاملاً هاماً جداً في الجيولوجيا ، إذ به يصبح كل شيء ممكناً . فإذا كانت آثار الظاهرات الجيولوجية وحتى أكثرها بطئاً ، مرئية بوضوح على سطح الأرض حيث يعاينها الجيولوجي ، فذلك لممارستها فعاليتها منذ أزمان سحيقة ولأن لدى الطبيعة الوقت الكافي لها . وإن حياة ، لا بل جيلاً وقل قروناً كاملة ، هي مُـدَد غير كافية لتقدير نتائج بعض الظاهرات الجيولوجية ، وهنا يجدر بالمراقب ، أكثر من أي مكان آخر ، غض النظر عن مقياس المدة البشري .

		المدة	بداية
		(التقدير بملايين من السنين)	
الرابعي	Pléistocène بليستوسين	١	١
الثلاثي	Pliocène بليوسين	١٠	١١
	Miocène ميوسين	١٤	٢٥
	Oligocène أوليغوسين	١٥	٤٠
	Eocène إيوسين	٣٠	٧٠
الثاني	Crétacé كريتاسي	٦٥	١٣٥
	Jurassique جوارسي	٤٥	١٨٠
	Trias ترياسي	٤٥	٢٢٥
الأولي	Permien برمي	٤٥	٢٧٠
	Carbonifère كربوني	٨٠	٣٥٠
	Devonien ديفوني	٥٠	٤٠٠
	Silurien سيلوري	١٠٠	٥٠٠
	Cambrien كامبري	١٠٠	٦٠٠
إيوزوئي	Antécambrien ما قبل الكامبري أو ou Algonkien آلغونكي		٣٣٠٠
	أقدم الصخور المعروفة		٣٨٥٠
	عمر الأرض		٤٥٠٠

III ـــ مصير الأرض وفناؤها

لما كانت الأرض هرمة للغاية فمن الممكن أن تطرح علينا قضية مصيرها أو فنائها. فالتطور اللاحق لكوكبنا، التطور الذي من شأنه أن يفضي حتماً إلى نهايتها والذي به سنقوم بتوقعات عن المصير الذي يخبئه المستقبل، كيف نتمكن من تصوره، علماً بأن البشرية جمعاء مهتمة بهذه القضية؟

فالأرض، بحسبانها تلعب دوراً بارزاً كحاملة للحياة، تكون قد أنهت قدرها، فتصبح كوكباً ميتاً عندما تبلغ أوضاع سطحها درجة تؤدي إلى استحالة كل حياة عليه. فالقمر، كرة فلزية محرومة من الماء والهواء، يدور في الفراغ المطلق، هو كوكب ميت، كذلك المشتري، زحل، أورانوس، نبتون، مع أجوائها الجليدية المؤلفة من بلورات الآمونياك، الهيدروجين أو الميتان، هي كواكب ميتة، والزهرة لوحده، كوكب صغير حار وكثيف، محروم في الوقت الحاضر من الأوكسجين الحر، سيكون متأخراً عن الأرض (دوفيلليه).

يمكننا افتراض تلاشي الحياة تدريجياً أثناء التطور الطبيعي للأرض، بفعل التبـرُّد وتجفف الجو وتحوله. وإليك تتابع الحوادث المتوقعة، في هذه النظرية للموت البطيء (طالما أن هذا الاحتضار «النزع» يحسب بملايين السنين).

وسيتطور الوسط الجغرافي الحالي، الذي فيه تتطور الحياة، سيتطور هو نفسه ببطء، بسبب النزاع السرمدي بين الأرض الصلبة والحت. فهناك كتل جبلية جديدة ستنبثق أيضاً، غير أن العوامل الخارجية، بعملها على تسويتها، لا تصنع لها مصيراً مختلفاً عن مصير السلاسل التي سبقتها على مرور العصور الجيولوجية. وذلك طالما بقيت نقطة ماء على سطح الأرض، إذ أن الحت الحاصل بالماء مع ذلك، هو الأكبر فعّالية.

وفي غضون إنجاز هذه التحولات المورفولوجية، ستستمر الحرارة في هبوطها بسبب تبرد النواة الداخلية المتوهجة وأيضاً لأن الشمس، التي توزع عليها من السخونة

الشعاعية تتطور هي نفسها بالاتجاه ذاته. وسيستمر إغناء الجو بغاز الكربون وسيفتقر لبخار الماء والأوكسجين بسبب تثبيت هذا الغاز الأخير بالصخور بحالة أكاسيد. وستصل الأرض تدريجياً على هذا المنوال إلى مرحلة المريخ Mars، الكوكب الذي ما زال يحتوي على ماء، غير أن جوّه أقل كثافة من جوّنا بسبب امتصاص قسم كبير من الأوكسجين الموجود فيه من قبل القشرة الصلبة، وهذا ما يفسِّر لون هذا الكوكب الأحمر المؤلف على الأرجح من أوكسيد الحديد في معظمه.

وعندما تكون حرارة الأرض الوسطية قد هبطت إلى ما دون الصفر، ستتلاشى الحياة بدون شك، إلّا إذا نجح الانسان بعبقريته، إلى تأخير حلول هذا الأجل المحتوم. وبسبب استمرار الحرارة بالهبوط، سيتصلب الماء المتبقي على شكل جليد وستترسب الغيوم بحالة ثلج، وستصبح الأرض محاطة بكفن أبيض، لا يلبث أن يزداد بالثلج الكربوني الذي يتساقط بدوره عند بلوغ الحرارة درجة كافية من الانخفاض لاحداث تكثيف لغاز الجو الكربوني. إن الأرض، اعتباراً من هذه اللحظة التي لم تعد محاطة فيها بغطائها الغيمي الواقي، تبرد بسرعة.

وفي خلال آلاف السنين، التي لا يعود تضريس الأرض فيها عرضة للحت، بسبب تخلي المياه عن عملها التخريبي، لن يخضع إلّا للبركنة فحسب، وتنتهي الأرض بأن تصبح شبيهة بتابعها القمر[1].

وعندما تصبح الحرارة بحدود ــ ٢٠٠° تقريباً، يتميّع الآزوت والأوكسجين الجويّين، ليعطيا محيطات جديدة ذات شواطئ قفراء، والجو، كأجواء زحل، أورانوس، نبتون، وهي كواكب باردة لها تقريباً هذه الحرارة الوسطى[2]، لا يعود يحتوي، بلا شك، إلّا على هيدروجين وهيليوم. والأرض، كرة فلزية باردة وخاملة، تتابع طوافها حول شمس شاحبة ومحكوم عليها هي نفسها بمصير مماثل.

(١) الفرضية كانت مقدمة على أن «الفوّهات» cratères الصخرية يمكن أن تكون نقاط صدم نيازك ضخمة، غير أنه لم تقدم براهين على ذلك قط وهي من جهة ثانية قليلة القبول.

(٢) الحرارات الوسطية لمختلف الكواكب هي كما يلي: عطارد + ١٧٨°، الزهرة + ٦٥°، المريخ – ٣٧°، المشتري – ١٤٧°، زحل – ١٨٠°، أورانوس – ٢٠٧°، نبتون – ٢٢١°.

غير أنه، فيما يتعلق بهذه النهاية بالبرودة، فقد تقدم بعض الجيوفيزيائيين مؤخراً برأي آخر مناقض ويقوم على النهاية بالسخونة. إننا نعلم الآن، أن جميع صخور القشرة الأرضية، وبخاصة الصخور الاندفاعية، هي مشعَّة. إذن هناك واقع مثبَّت تماماً، وهو أن تبدُّد أو انشطار désintégration الأجسام المشعَّة يترافق مع انطلاق مستمر للسخونة. إن هذا الدفق الحروري الأرضي هو الذي تجري محاولة قياسه.

وتؤلف الصخور النارية مايقرب من ٥٢٪ من صخور الغلاف الصخري وهذه الصخور تحتوي وسطياً على ٣٫٤٦ من ألف من الميلليغرام من الراديوم و ١١٫٧ ملغ من الثوريوم. وينجم، بعد علمنا على الخصوص، أن غراماً من الراديوم ينتج بالساعة ١٦٤ حريرة calories، فإن طناً من هذه الصخور يطلق وسطياً ٧٫٦٥ من عشرة آلاف من الحريرات بالساعة.

وقد كشف جولي و ستروت أيضاً، وهما أول من نشر هذه الأرقام، أنه برغم ضياع السخونة بفعل الإشعاع، فإن من المنتظر أن ترتفع حرارة الأرض تدريجياً، حتى أن جولي قد حسب بأن حرارة الأرض يجب أن تبلغ ١٨٠٠° خلال مئة مليون عام. وعندئذ سيصبح كل ما عليها منصهراً وستدخل الأرض في مرحلة متوهجة جديدة. ولكن يأتي حين من الدهر قد تنقلب فيه الحصيلة الحرارية، ذلك أن خسارة الحرارة التي تتزايد كالأسّ الرابع للحرارة المطلقة، والتي غدت عظيمة، فإن انطلاق السخونة الناتجة عن انشطار الأجسام المشعة سيعجز عن تعويض الخسارة وستأخذ الأرض في التبرُّد، أو بعبارة أخرى، ستتشكل قشرة خبثية جديدة، مما سيتعارض مع خسارات سخونة المهل العميق، ومن الممكن أن ينشأ طور جيولوجي جديد، وربما ستنشأ معه الحياة وصروفها المتقلبة.

وفي فرضية كهذه يصبح تاريخ الأرض، عبارة عن زمرة متتالية متواصلة لأطوار كونية، وأطوار جيولوجية، وستتغلب النار على الحياة التي لا يعود تطورها مسيرة مستمرة نحو الكمال الأعلى، بل محاولة مستديمة بين الليالي الكونية.

ومن الواجب الإعتراف بأن كل ذلك افتراضي جداً أيضاً، ويستند على فرضية

يتعذر التحقق منها، ومفادها: أن الأقسام العميقة من الأرض مشعة أيضاً أكثر من الأقسام السطحية، وأن النشاط الاشعاعي موزع بانتظام في كتلة الكرة [1].

وتقدم بعض علماء الفلك بفكرة احتمال وقوع كارثة عنيفة من شأنها أن تقود لإفناء الأرض بسرعة. وفعلاً، يمكن أن يُمَسَّ كوكبنا من قبل جرم تائه فيفجرها كقنبلة أو يوهِّجها بتأثير كمية السخونة الهائلة المنطلقة عن هذا اللقاء. ولكن، في معزل عن احتمال كهذا، نرى أن الأرض لن تتوصَّل إلى النطاق النجومي الأقرب (مجموعة نجوم هرقل)، والأكثر خطراً بهذا الخصوص، إلّا بعد مرور ما ينوف عن مئة ألف مليار من السنين، وتثار فرضية الصدم النجمي هذه، من جهة أخرى، لتفسير ولادة نجوم جديدة les novae التي بإمكانها إتاحة الفرصة لنشوء منظومة شمسية جديدة.

وأخيراً فإن الاكتشافات الحديثة، والمتعلقة بالنشاط الاشعاعي الاصطناعي مكّنت الفيزيائيين من استشفاف إمكانية تحقيق عدد من تحولات ذات طابع انفجاري تترابط ببعضها بعضاً. ومن المسموح به التفكير بأن هذه التحولات بإمكانها أن تتم تلقائياً لدى بعض النجوم ولربما كان في هذا، حسب رأي ف. جوليو F.Joliot، تفسير ممكن للولادة المذهلة بهذا المقدار لبعض نجوم جديدة novæ قريبة من الشموس. لكن، ألا يمكن تفسير الاختفاء الفجائي لبعض الأجرام بسيرورات مماثلة، وهل أرضنا حقاً بمنجى من احتمال كهذا؟

(١) غير أنه، من المرجح كما يبدو، أن النشاط الإشعاعي، على العكس، متمركز في المناطق السطحية من الكرة.

الجزء الأول

مـواد
القشرة الأرضية
فلزات وصخور

تتألف مواد القشرة الأرضية من الصخور التي تؤلف دراستها علم الصخور (ليتولوجيا Lithologie) أو (بتروغرافيا Pétrographie). فالبتروغرافي، على اعتبار أن الصخور هي نفس مادة القشرة الأرضية، يتحرك إذاً ضمن ميدان دراسة فسيح.

ويمكن تعريف صخر ما بصفته مجموعة من الفلزات، أو المواد البلورية، أو عديمة الشكل اللابلورية. قد تكون هذه العناصر كثيرة العدد تقريباً ومتنوعة، غير أنه توجد مع ذلك صخور مؤلفة من فلز وحيد.

ويكون عدد الصخور كبير جداً ويعتبر مظهرها من أكثر المظاهر تغيراً. فغرانيت، ولابة، والكلس، والفحم الحجري، والحمَّر bitume، هي صخور، ويمكن لكل صخر، رغم هذا التنوع، أن يدخل في إحدى هذه الزمر: صخور اندفاعية، من أصل مهلي، عميق؛ صخور رسوبية، من أصل سطحي؛ وأخيراً صخور بلورية متورقة، من أصل مختلط.

وإذا كانت الصخور الأخيرة هذه تؤلف، على سطح الأرض، مناطق فسيحة جداً من التكشفات (كندا، سيبيريا، افريقيا الوسطى، أوستراليا، اسكنديناڤيا، الكتلة المركزية الفرنسية... الخ)، فإن الصخور الاندفاعية لا تبدي، بالمقابل سوى

تكشُّفات محدودة تقريباً وتكون غالباً كتلية جبلية. (بالوليتات، لاكّوليتات، جَدّات Dykes، عرق طبقي، نك neck ... إلخ). وقد كان أصل هذه الصخور البلورية المتورقة والاندفاعية العميقة ولا زال موضع نقاش كثير. أمّا الصخور الرسوبية، وهي قليلة الانتشار بالنسبة للصخور السابقة، فهي ذات أصل مؤكد، ونشأت حتماً على سطح الكرة بدلالة تطبقها واحتوائها على مستحاثات.

وليس لجميع الصخور هذه على اختلافها، من وجهة نظر تركيب الغلاف الصخري، الأهمية ذاتها. ويبدو واضحاً تماماً، من هذه الوجهة، أن الصخور البلورية (صخور اندفاعية وبلورية متورقة) هي التي تلعب الدور الأول (٩٥٪ مقابل ٥٪ للصخور الرسوبية، حسب كلارك). ولا يكون عدد العناصر الكيميائية التي تتدخل في تركيب الغلاف الصخري مرتفعاً كثيراً. ونجد، بإدخالنا الغلافين الجوّي والمائي مع الغلاف الصخري، أن الأوكسجين هو المسيطر بالدرجة الأولى. جو، غلاف مائي، أكاسيد، ونسبته (٥٠٪)؛ ثم يأتي السيليسيوم، السيليس، والسيليكات (٢٦٪)؛ فألومينيوم السيليكات الألومينية (٧٫٥٪)، فكالسيوم الصخور الكلسية والسيليكات (٣٪)؛ فصوديوم الملح البحري والسيليكات القلوية (٢٫٥٪)؛ فبوتاسيوم السيليكات (٢٫٥٪)؛ يليه مغنيزيوم الكربونات وسيليكات (٢٫٢٪)؛ وأخيراً هيدروجين ماء البحر والرطوبة المتشربة في الصخور وماء الصخور التركيبية (١٪).

ويلخِّص الجدول الآتي، حسب كلارك، التركيب الوسطي لمجموع القشرة الأرضية:

SiO^2	٥٩٫٧٧	CaO	٤٫٨٦
AL^2O^2	١٤٫٨٩	Na^2O	٣٫٢٥
Fe^2O^3	٢٫٦٩	K^2O	٢٫٩٨
MgO	٣٫٧٤	H^2O	٢٫٠٢

وعلينا أن نضيف إليه بعض فلزات نادرة تكاد تقل نسبتها دائماً عن $\frac{١}{١٠}$ تقريباً. ويحدد كلارك، عند إعطائه هذه النتائج، بأنها لا تنطبق إلّا على جزء ضئيل من

القشرة، بحدود ١٦ كم تقريباً من أصل ١٠٠ كم المقـدَّر للغلاف الصخري. ولكن تبقى هذه الأرقام معبِّـرة تماماً ومركَّـزة بما فيه الكفاية، عـمّـا سبق تقديمه عن أهمية كل من السيليس والألومين في هذه الصخور الداخلة ضمن نطاق تحرياتنا. فالسيليسيوم يلعب إذاً، في عالم الفلز، دوراً مماثلاً لدور الكربون في العالم العضوي.

وفي سبيل فهم بنية الصخور وتطورها جيداً، علينا أن نبدأ بدراسة تمهيدية للفلزات.

الفصل الأول

الفلزات ، عناصر الصخور

إن دراسة الفلزات هي مجال لعلم مثيل للجيولوجيا ، هو المينيرالوجيا أو علم الفلزات . إن أكثر من ٢٠٠٠ صنف فلزي ، جرى وصفه في الوقت الحاضر ، غير أن عدد الأصناف الهامة للبتروغرافي هو نسبياً محدود .

١ ــ عموميات

I ــ التمييز بين المادة البلّورية والمادة اللاّ بلّورية amorphe

إن **الفلزات** هي أجسام لا عضوية ، يمكن مصادفتها في الطبيعة بحالتين فيزيائيتين متقابلتين في مادتيهما : الحالة اللا بلّورية ، متميزة بانعدام انتظام الذرات والحالة البلّورية ، متميّزة بترتيب منتظّم للذرات[1] . وتكون جميع الخواص هي نفسها في أي نقطة كانت ، وذلك في المادة اللا بلّورية ، كالزجاج مثلاً : يقال عنه

(١) غير أننا نعلم الآن ، أن بين هاتين الحالتين المتطرفتين ، توجد أجسام نصف بلّورية : إنها الأجسام الوسطية mésomorphes بين هاتين الحالتين (ج . فريديل) والأجسام الغروانية ، وهي من جهة ثانية ، نادرة بالحالة الطبيعية .

متساوي الخواص، أو متناحي **isotrope**. وعلى العكس تماماً في المادة البلورية، حيث تكون الخواص متبدلة: بعضها يتحول بشكل متواصل مع الاتجاه (ضوء، نقل حراري... إلخ)، وبعضها الآخر يتبدل بشكل متقطع (مثلاً: انفصامات clivages)، ويقال عندئذ عن هذه الأوساط أنها **متباينة الخواص anisotrope** أو لا متناحية.

وتتكشف الحالة البلّورية، وهي الحالة الأكثر شيوعاً في الطبيعة، بخاصة بظاهرات ضوئية.

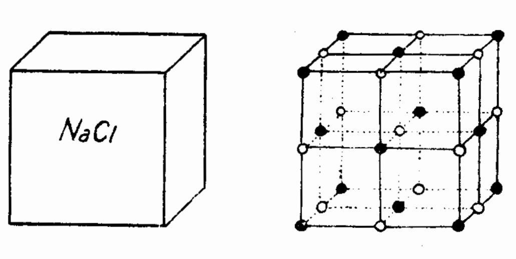
تطلق لفظة **بلورة cristal** على فلز مبلور محدد بسطوح مستوية تتقاطع بحروف ورؤوس sommets. هذه علامة من علامات التبلور الأكثر وضوحاً. غير أن المادة المبلورة لا توجد دائماً بشكل بلورات. فالسيليس مثلاً، مادة فلزية مبتذلة، كثيرة الشيوع في الطبيعة، قد يبدو بحالة لا بلّورية amorphe ذاك هو أوبال (SiO^2nH^2O)، أو يكون مبلوراً (SiO^2) بدون شكل بلوري مثل مرو العروق، أو بحالة بلورة مثل بلّور الصخر.

وقد انساق المينيرالوجيون الأوائل، لاعتبارات نظرية، للتفكير، بأن توزع المادة داخل الجسم المبلور، يجب أن يكون حسب اتجاهات الفراغ الثلاثة.

وقد لاحظ الأب القس هوي Haüy أبو المينيرالوجيا. لاحظ مثلاً، لدى إجرائه تجارب انفصامية على بلورة كالسيت (مجسّم معيني)، أن أصغر جزء، نجم عن زحن هذا الكالسيت، له أيضاً شكل المجسم المعيني. وقادته هذه الملاحظة إلى التفكير بأن داخل البلورة يجب أن يكون مؤلفاً من تكديس مجسّمات صغيرة ومتماثلة بأعداد لا تدخل تحت الحصر (جزيئاتها المتممة)، ومشابهة جداً للمجسم الكبير ومتناحية معه. وبسبب ذلك، لم يعد للوصول إلى التفكير بأن شكل الجزيء نفسه كان مجسّماً معينياً سوى خطوة.

هذه الفرضية عن البنية الدورية للمادة البلورية (برافه Bravais) قد أيّدتها مؤخراً الأعمال الأخيرة للفيزيائيين المختصين بعلم البلورات، (ف. لووه، براغ...

إلخ)، اللذين تمكنا من تحديد شكل مختلف الشبكات البلورية وخصائصها بدقة [١] (شكل ٩).



شكل ٩ — **بنية بلورة ملح صخري (كلورور الصوديوم)**. إلى اليسار، بنية مكعبة للجزيء في فرضية هوزي. إلى اليمين، الشبكة المكعبة للملح الصخري في فرضية براغ (عقد الشبكة هي الذرات أو الأيونات وليست الجزيئات، وهي إذاً مصفوفة بطريقة دورية في وسط البلورة).

ولقد تمكنوا نتيجة ملاحظة إمكانية انعراج أشعة رونتجن بالمستويات الشبكية للبلورات[٢]، في شرائط خاصة وباستعمال أشعة X محددة الأطوال الموجبة وموحدة اللون، من تحديد شكل الدور البلوري ووضعية الذرات في زرد الشبكة. وهكذا بيَّن براغ أن شكل الزرد كان مكعباً أيضاً في بلورة ملح صخري (كلورور الصوديوم)، ولكن الذرات، خلافاً لما يمكن التفكير به، لا تتجمع فيه لتعطي جزيئاً مكعباً؛ فذرات Na تحتل رؤوس المكعب ومراكز الوجوه. بينما تتوزع ذرات Cl حسب الأضلاع ومركز المكعب. فلا يوجد إذاً جزيء متفرِّد في كتلة بلورة ملح بحري، إنه استنتاج يتجاوز بما لا يقاس حدود المينيرالوجيا الكلاسيكية. وقد طبِّقت هذه الطريقة من قبل المؤلفين أنفسهم على أجسام أكثر تعقيداً، وبخاصة على فلزات سيليكاتية، بحيث أصبح جوهر

(١) تطلق لفظة شبكة على مجموعة غير محدودة من مجسمات متوازية السطوح متماثلة؛ فالرؤوس هي العقد، والمجسم متوازي السطوح هو الزرد. المستوى الشبكي هو الذي يحتوي على أكثر من ٣ عقد، إذاً لا متناهي. ومن بين هذه المستويات، فإن المستويات التي تحتوي على عقد أكثر في وحدة السطح يقال لها مستويات شبكية كثيفة، فهي تقابل مستويات سطوح الانفصام.

(٢) مسافات هذه المستويات الشبكية بحدود طول موجة الإشعاعات المستعملة تلعب بلورة هنا إذاً دور شبكات انعراج diffraction مستعملة في البصريات، ولكن على مقياس أصغر بكثير، (انغستروم بدلاً من ميكرون).

البنية في الوقت الحاضر معلوماً تماماً . (مثال : بيريدوت ، ميكا ، غضاريات ... إلخ) .

إن كل جنس فلزي مبني إذاً على طبيعة « **كيانه البلوري** » **«motif cristallin»** المؤلَّـف بحد ذاته من ذرات محددة ومتنضدة حسب ترتيب من التناظر ، محدد أيضاً ، ويتكرر دورياً حسب ثلاثة اتجاهات مترافقة .

II ــ مفاهيم علم البلورات (الكريستالوغرافيا)

علم البلورات هو دراسة الخصائص الهندسية والفيزيائية للبلورات .

أ ــ علم البلورات الهندسي

إن بـلّـورة متفـرِّدة تماماً ، تكون ذات شكل متعدد الوجوه ، محدب ، محدد بسطوح مستوية ، دون زوايا داخلة rentrants . وعند وجود زوايا داخلة نكون تجاه تجمّـعات بلورية (مثلاً ، توأمات macles ، انظر فيما بعد ص٥٥) .

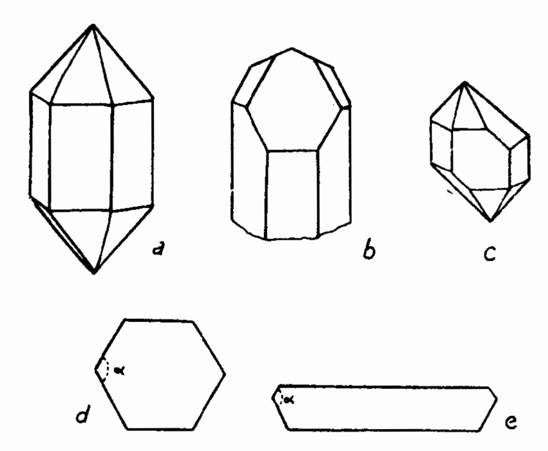
وفي دراسة بلورة يمكن تمييز عناصر شكل وعناصر تناظر .

فعناصر الشكـل هي : الوجـوه ، الحروف أو الأضلاع ، الـرؤوس والزوايـا . وما يتوجب أخذه بعين الاعتبار بخاصة هي الزوايا التي تتقاطع الوجوه بموجبها ، وتكون هذه الزوايا ، في فلز مبلورٍ ما ، نفسها دائماً . ويمكن على هذا النحو ، أن تكون بلورتا فـلز ما ، مختلفتين ظاهرياً ، لاتكون المقاطع فيها متشابهة والأضلاع غير متساوية ، غير أن الزوايا التـي تتقاطـع بموجبها هذه الأضلاع تبقـى دائمـاً متساويـة فيمـا بينها (شكل ١٠) .

وتقاس زوايا البلورات بواسطة أجهزة مقاييس الزوايا **goniométres** .

وتكون عناصر التناظر هي : المحاور ، المستويات ، المراكز . وهي العناصر التي

يتحقّق بالنسبة لها، في البلورة، بعض التناظر. ولعناصر التناظر هذه بالضرورة علاقات فيما بينها، إذ أن وجود مستوٍ ومركز يفترض وجود محور تناظر. قد يوجد



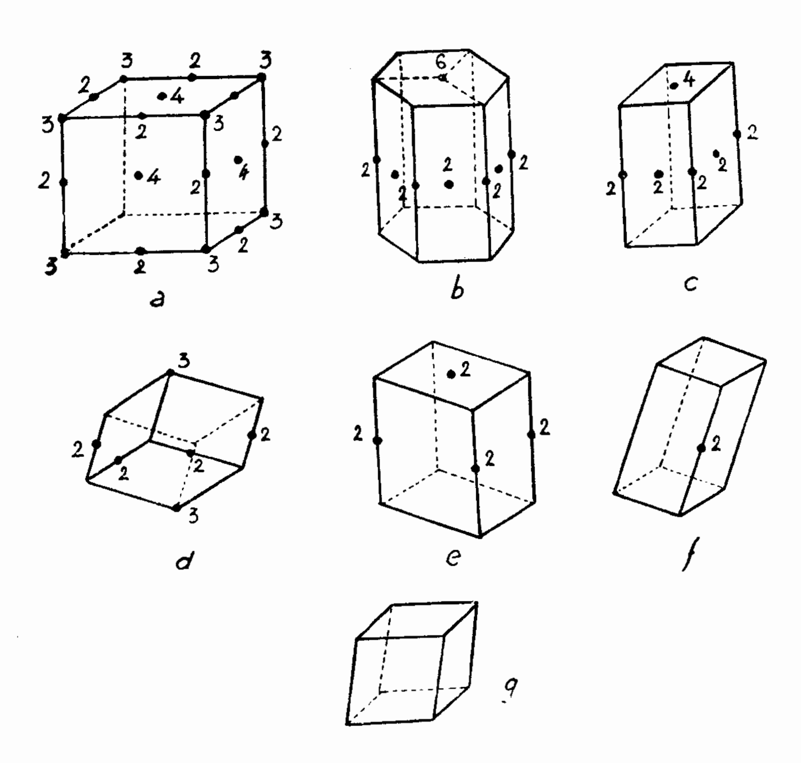
شكل ١٠ ــ **أشكال بلورية**. a,b,c تبدلات في الأشكال البلورية عند جنس فلزي نفسه (مرو). d,e مقطعان لبلورات موشورية من المرو: الوجهان مختلفان، غير أن الزاويتين المتناظرتين متساويتان فيهما.

محور أو عدة محاور تناظرية من مرتبة مرتفعة تقريباً (ثنائية، ثالثية، رابعية)، حسبما يتوجب تدوير البلورة حول محورها، ١/٢، ١/٣، ١/٤، ..الخ من دائرة لاستعادة أوجه الوضع الأصلي.

المنظومات البلورية، أشكال أولية وأشكال مشتقة: لقد أُرجعت الأشكال المتعددة للبلورات التي توجد في الطبيعة إلى عدد محدد من الأشكال البسيطة الأساسية، هي الأشكال الأولية primitives كما يسمونها، وتأتي كل واحدة منها نوعاً ما، في مقدمة عائلة بلورية، وتوجد سبع عائلات أو منظومات بلورية systèmes cristallins (شكل ١١)، تُعرَّف بعدد محاور التناظر فيها وترتيبها.

١ً ــ المنظومة المكعبية، ويكون شكلها الأولي (نواة) هو المكعب. ذاك هو الأكمل من وجهة نظر التناظر. ويحتوي على ثلاثة محاور رابعية (مثلاً: معادن وليدة نقية، كربون ... إلخ).

٢ً ـــ المنظومة السداسية، ويكون شكلها الأولي أو البدائي، هو موشور مستقيم قاعدته مسدس منتظم (مثلاً: مرو، ميكا، غضار... الخ[1]).



شكل ١١ ـــ **منظومات بلّورية**. سبع تجمعات شبكية مصنّفة حسب شكل متوازي السطوح البدائي؛ a مكعبي؛ b، سادسي؛ c، رابعي؛ d، معيني؛ e، معيني مستقيم؛ f، أحادي الميل؛ ثلاثي الميل. تمثل النقاط السود أثر محاور التناظر على الوجوه أو الحروف، والأرقام الرتبة المقابلة (ثنائيات، ثلاثيات، رباعيات، سداسيات).

٣ً ـــ المنظومة الرابعية أو الرباعية، وشكلها الأولي، أو البدائي موشور مستقيم قاعدته مربعة. (مثلاً: كاسّيتيريت، بيريت نحاسي، زركون... الخ).

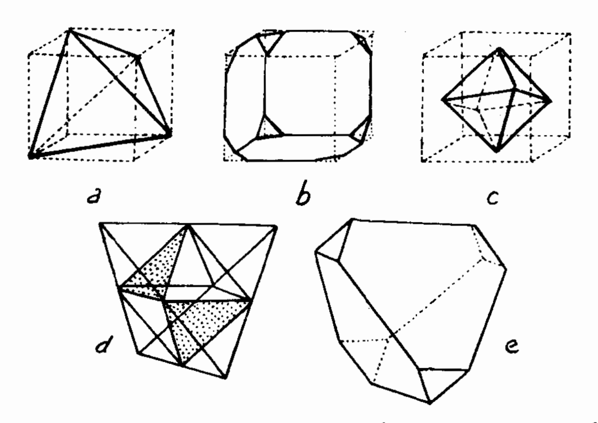
(١) يتألف الموشور السداسي بالحقيقة من ثلاثة مجسمات متوازية السطوح قاعدتها معيَّن مجتمعة على طول محور تناظر سداسي. هنالك، من جهة أخرى، إمكانية الانتقال من الموشور السداسي إلى المجسم المعيني (نموذج المنظومة المعينية)، بطريقة التناظر النصفي Hemiédrie (انظر فيما بعد) بتحول ست من زوايا ثلاثيات الوجوه للجسم الأولي موضوعة بالتناوب من أعلى ومن أسفل الحروف الجانبية إلى وُجَيْهات محددة.

٤ً ـــ المنظومة المعينية أو الثلاثية، ويكون شكلها الأولي مـجَّسماً معينياً؛ أي جسم صلب تكون وجوهه كلها معينات (مثلاً: كالسيت، دولوميا، سيديروز، تورمالين ... الخ).

٥ً ـــ المنظومة المعينية المستقيمة، شكلها الأولي موشور مستـقيم قاعدتـه معـيَّـن (مثلاً: آراغونيت، باريتين، بريدوت، طوبّـاز ... الخ).

٦ً ـــ المنظومة المعينية أحادية الميل، أو الثنائية. شكلها الأولي موشور مائل قاعدته معينة (مثلاً: صفاح أورتوز، آمفيبول، بيروكسين، جبس ... الخ).

٧ً ـــ المنظومة الثلاثية الميل أو عديمة التناظر، شكلها الأُولي متعدد الوجوه له ثلاثة حروف مائلة على بعضها (مثلاً: صفاح بلاجيوكلاز، أكسينيت ... الخ).



شكل ١٢ ـــ أشكال مشتقة من المنظومة المكعبية. اقتطاعات على الرؤوس، وجوه غير محذوفة (b) ؛ وجوه محذوفة؛ مثمن وجوه منتظم (c) ؛ نصف الأوجه المتوقعة بالتناظر، يوجد تناظر نصفي؛ رباعي الوجوه منتظم (a) ؛ رباعي وجوه موجب وسالب (d و e).

وكل فلز يتبلور، من حيث المبدأ، في نظام ثابت يميِّـزه.

غير أن بعض أجسام محددة تماماً قد تتبلور حسب منظومات مختلفة؛ ذاك هو **تعدد الأشكال Polymorphisme** (مثلاً: بيريت الحديد هو مكعبي ومعيني مستقيم؛ كربونات الكلس هو معيني في الكالسيت، ومعيني مستقيم في الآراغونيت).

وقد يحصل أحياناً أن تتبلور مادتان سوية حسب الشكل البلوري ذاته؛ وهذا

هو **التشاكل isomorphisme** (مثلاً: الدولوميا، وهي كربونات الكلس المضاعفة والمغنيزيا، تتبلور في المنظومة المعينية).

وهناك ما هو أكثر من ذلك: إن بعض الفلزات قد يحل محل فلزات أخرى مع احتفاظها بالشكل البلوري العائد للفلز الأول؛ هذا هو **زَيْف الأشكال أو التشكل الكاذب pesudomorphoses** (مثلاً: البينيت هو شكل زائف للكورديبيريت).

إن الأشكال البلورية الأولية التي عـدَّدناها نادرة تقريباً في الطبيعة (باستثناء المعادن الوليدة أي النقية)، وأن ما نصادفه فيها على الأغلب هي أشكال **مشتقة dèriveés**. (شكل ١٢).

ويمكن نظرياً المرور من الأشكال الأولية إلى الأشكال المشتقة العديدة ببراعة أسلوب **الاقتطاعات** أو **البترات Troncatures**. وهذه قد تمارَس إما على الحروف، أو على الزوايا (زوجي السطح وثلاثي السطوح)، ولكن ضمن شرائط خاصة. فثماني الوجوه قد يعتبر، على هذا النحو، بمثابة شكل مشتق عن المكعب؛ وبالواقع يحصل الانتقال بسهولة من أحدها إلى الآخر، بإجراء اقتطاع على رؤوس المكعب وبتحديد المستويات المتشكلة على هذا النحو حتى يحصل تقاطع متبادل.

ويقال أن مثمن الوجوه هو أحد الأشكال المشتقة عن المنظومة المكعبية. والآن، إذا فرضنا أن بعض أوجه (منقطة في الشكل ١٢، d)، من مثمن وجـوه حصلنا عليه بهذه الطريقة، تتطور لوحدها، فإننا نحصل على جسم صلب له أربعة أوجه مثلثية يدعى رباعي الوجوه Tétraèdre. ويتيح تنامي بقية الوجوه الفرصة لتشكل رباعي وجوه مُدارٍ بمقدار ٩٠° عن السابق[1].

---

(١) يقال أن هناك رباعي وجوه موجب ورباعي وجوه سالب. ويكون تمازج هذين الشكلين ممكن التحقيق (مثلاً، شكل ١٢، e). ويضاف إلى ذلك أن بالإمكان أيضاً وجود بعض بلورات نصفية التناظر على شكلين مختلفين، غير أنهما متناظران أحدهما بالنسبة للآخر بالنسبة لمستوٍ واحد (جسم ما وصورته في مرآة). وهذه الحالة محقّـقة بخاصة في المرو (مرو يميني ومرو يساري). ومعلوم منذ عهد باستور أن الشكل البلوري على صلة مع القدرة الدورانية، وظهر مؤخراً أن عدم التناظر في الشكل البلوري هذا هو نفسه تابع لعدم تناظر الوسط، وهكذا نرى ذرات السيليس، في بلورة مرو، مكـدَّسـة حلزونياً حسب المحور الضوئي.

إن جميع أشكال البلورات، مع ما هي عليه من الاختلاف لأول وهلة، يمكن إرجاعها إذاً إلى بعض نماذج بسيطة، والتي هي منظوماتنا البلورية السبع. ويرجع هذا الإكتشاف إلى هوي Haüy وقانونه المسمّى **قانون الاشتقاق** **Loi de dérivation**، الذي يحدد بدقة الوسيلة الواجب اتباعها والتي يبدو أن الطبيعة قد استخدمتها :

« للحصول على شكل مشتق، يعدَّل الشكل الأولي بالتتالي على كل أجناسه من حيث الزاوية والحروف بوجَيْهات، (تصغير وجه) يكون عددها ووضعيتها متطابقين مع عناصر التناظر ».

وعند تنفيذ جميع الاقتطاعات الممكنة، يكون لدينا شكل **كامل الوجوه** **holoèdre** (مثلاً، ثماني الوجوه). وفي حالة إهمال بعض عناصر التناظر، فلا تحوي الأشكال عندها سوى شطر من عدد الوجيْهات من شكل كامل الوجوه أي أشكال تدعى **جزيئية الوجوه** **mérièdres**. ومن هذه الأخيرة الأشكال **نصفية الوجوه** **hémièdres** لا تشمل إلّا نصف وجوه الشكل الكامل الوجوه (مثلاً، رباعي الوجوه اعتباراً من ثماني الوجوه، مجسم معيني اعتباراً من موشور سداسي).

مصطلحات : يستعمل المينيرالوجيون الأحرف لتعيين عناصر شكل بلورة ما وللتنويه بالتحولات التي طرأت عليها اعتباراً من الشكل البدائي. وتكون الأحرف نفسها مخصصة لعناصر تناظر مشابه.

يكون تعيين الوجوه بالأحرف p, m, t (**من أولي « بدائي »** **primitif**).

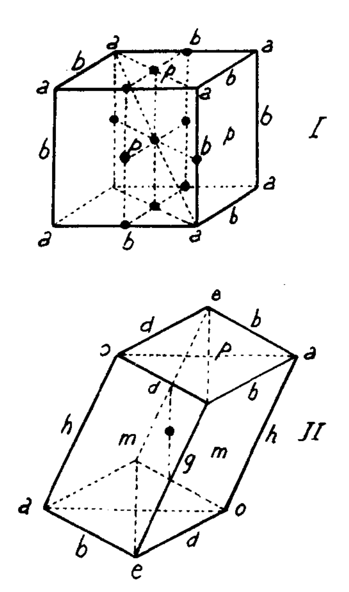
أضلاع القاعدة بالأحرف b, c, d, f.

الأضلاع الجانبية بالأحرف g, h.

الرؤوس بالأحرف الصوتية a, e, i, o.

وهكذا نلحظ إذاً أنه كلما كان الشكل البدائي بسيطاً كلما كانت الأحرف المختلفة أقل عدداً لتعيين عناصره. فمع المكعب مثلاً (شكل ١٣) تكون جميع

الوجوه هي p وجميع الأضلاع b ، والزوايا a . ومع النظام الرابعي ، يكون عندنا نوعان من الوجوه p و m ؛ ونوعان من الأضلاع b و g ... إلخ . وهكذا نرى أن التناظر يتناقص تدريجياً من المنظومة المكعبية إلى المنظومة الرباعية ، وهي أكثر الأنظمة تعقيداً وهو الذي يجب أن تستعمل فيه جميع الأحرف .



شكـــل ١٣ ـــ ترميـــز المواشير الأساسية في المنظومتين : المكعبة (I) وأحادية الميل (II) .

إذا أجرينا الآن اقتطاعاً على ضلع ، وليكن g مثلاً ، فالوجيه الحاصل هو g^1 . وتكون الاقتطاعات على زوايا ثلاثيات الوجوه أكثر تعقيداً بقليل إذ تستعمل عندئذ أحرف دالّة على الأضلاع المؤدية إلى الرأس ذاته أو الزاوية ومزوّد كل منها بِأس m, n, p دالّ على إحداثيات متبدلة حسب الأطوال المقتطعة على مختلف الأضلاع . مثلاً : إذا كان اقتطاع $d^m f^n h^p$ ، يؤدي إلى فصل جزءٍ ما من الأضلاع ، فيرمز إليه بـ $d^1 f^1 h^1$ [1] .

ب ـــ الكريستالوغرافيا الفيزيائية (علم البلورات الطبيعي)

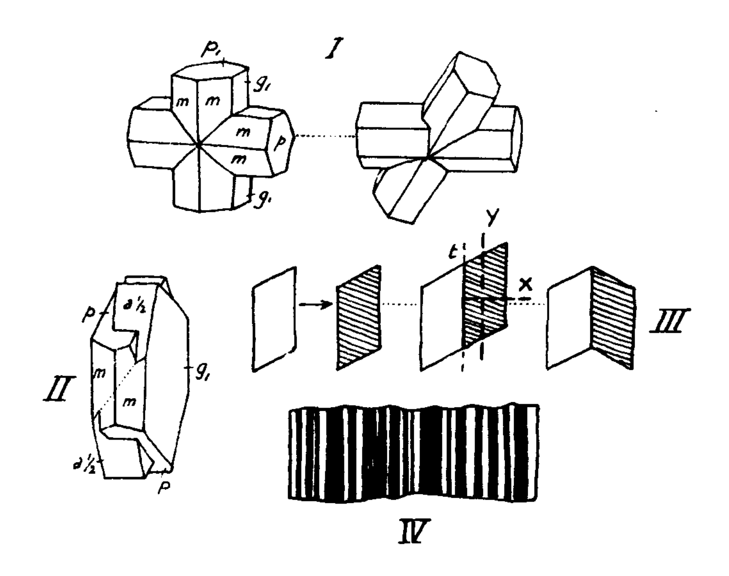
ويشمل دراسة الانفصامات ، والتوأمات والخصائص الضوئية العامة للفلزات .

الانفصامات Clivages : ينفصل فلزّ ما أحياناً عند تحطيمه ، إلى عناصر متشابهة ، محاطة بسطوح هي سطوح انفصام . هذه السطوح هي إذاً اتجاهات لها

(١) هذا الترميز هو الترميز الفرنسي ويعود لِـ ليفي Levy . ويفضلون حالياً استعمال ترميز ميللر Miller ، وهو أعم وأنسب للحساب المينيرالوجي للأوجه .

الحد الأدنى من الالتصاق مقابلة لغزارة كبيرة في العقد الشبكية . وقد سبق أن رأينا في التجربة المذكورة سابقاً عن المجسم المعيني من الكالسيت، أنه يعطي دائماً عند تحطيمه، مجسمات انفصام معينية صغيرة وتكون اتجاهات الانفصام هذه ثابتة، غير متحولة، لكل جنس فلزي. توجد أحياناً عدة انفصامات سهلة إلى حدّ ما . ففي الكالسيت مثلاً، لدينا ثلاثة انفصامات متساوية السهولة وموازية لوجوه المجسم المعيني ؛ وفي الصُفّاح «فلدسبات» ثلاثة انفصامات متفاوتة السهولة، ولا يوجد في الميكا سوى انفصام واحد سهل للغاية، وهو الذي يعطي صفائح الميكا المستعملة في الصناعة .

التوأمات macles : وتعـرَّف بالتصاق بلورتين من نفس الجنس تكـــون



شكل ١٤ ــ نماذج من توأمات I ستوروتيد. II، أورتوز (توأمة كارلسباد). III، هيميتروبي hémitropie (تجمع لبلورات من نفس الطبيعة والشكل). بلورتان تتقاربان حسب وجه التصاق (t، أثر هذا السطح). وتنجز بلورة اليمين دوراناً حسب محور عمودي على وجه الالتصاق (x) (تجمع عمودي)، أو محور مواز لهذا الوجه (y) (تجمع متواز). IV، توأمات متكررة التحليل من البلاجيوكلاز (مثلاً، آلبيت) تتكشف تحت المجهر عن شرائح متجمعة كامدة أزواجاً أزواجاً، مما يميزها عن آثار الانفصام.

اتجاهاتهما البلورية مختلفة [1]، وليس من المحتم أن يكون السطح الفاصل بينهما مستوياً، كما أنه توجد هنا زوايا داخلة وخارجة (شكل ١٤).

وتكون التوأمات شائعة بخاصة في أشكال جزئية الوجوه التي تحقق على هذا النحو تناظراً أكثر تكاملاً.

ولها نماذج كثيرة، ففي **توأمة بفعل الاختراق والتصالب** **pénétration et entre croisement**، تتجمع بلورتان مثل تجمع قطع خشب نقرة التعشيق mortaise[2]؛ وتكون زاوية التجمع متحولة (٩٠° أو ٦٠°) (مثلاً، توأمة الستوروتيد أو صليب بريتانيا).

وهناك توأمات أخرى أو **هيميتروبات** **hémitropies**، وهي توأمات بالتجمع أو التصاق بوجه. ويفترض هنا أن جسماً ما يلتصق مع صورته بالمرآة حسب الوجه المحصور في مستوي المرآة، وأن دوراناً لاحقاً بزاوية مقدارها ١٨٠° دوَّر أحد الجسمين بالنسبة للآخر، الذي ظل ثابتاً. ولكن تبرز هنا حالتان يتوجَّب اعتبارهما حسبما يكون محور الدوران عمودياً على وجه الالتصاق أو موازياً له. ففي الحالة الأولى يكون الهيميتروبي (تجمع بلورات متماثلة) عمودياً (مثلاً، توأمة الألبيت)؛ وفي الحالة الثانية يحصل التجمع المتوازي (مثلاً، توأمة الأورتوز، أو توأمة كارلسباد كما يقال لها). وتتجمَّع عند بعض الصفاح (بلاجيوكلاز)، عدة صفيحات هيميتروبية لتعطي توأمات متعددة تدعى عديدة التحليل. وقد تظهر هذه البنية التوأمية بالعدسة المكبِّرة، وحتى بالعين المجردة بسبب وجود أعداد كبيرة من تحززات متوازية ودقيقة للغاية تبدو على سطح الفلز الذي قد نحسبه للوهلة الأولى بلورة بسيطة [3].

---

(١) هذه التوأمات، التي تكون قوانينها معروفة تماماً، لا يجوز أن تلتبس علينا مع التجمعات أو مع تكتلات ما من البلورات العائدة لنفس الجنس، غير أنه يجب التنويه أيضاً بأنه يوجد أحياناً تجمع من بلورات من أجناس مختلفة، منتظمة أيضاً حسب قوانين بسيطة (بخاصة عناصر مشتركة من الشبكات)، وتسمى الابيتاكسي Épitaxie، ولها مثال كلاسيكي هو مثل بلورات بيريت الحديد موجهة فوق بلورة ميسبيكل.

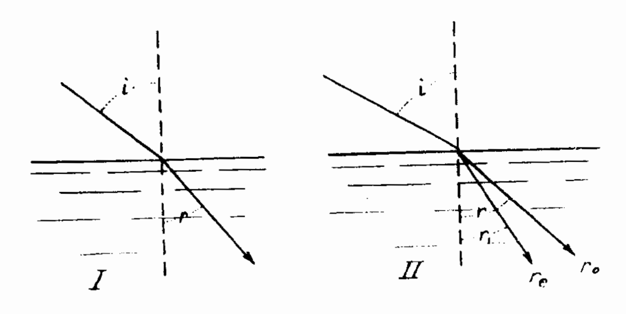
(٢) فتحة في خشب تتلقى لساناً خشبياً آخر.

(٣) بالمجهر الاستقطابي (انظر فيما بعد) تظهر التوأمية بتعتيم، وتكون صفيحات الهيمتروب المجتمعة على هذا النحو أزواجاً أزواجاً.

الخصائص الضوئية للفلزات : تستوجب الملاحظة بسبب أهميتها البالغة ولأنها تؤدي خدمات كبيرة في دراسة مختلف الفلزات المؤلفة للصخور وتحديد نوعيتها .

ومن السهل التثبت من هذه الخصائص بواسطة المجهر الاستقطابي . وهي تقوم على دراسة كيفية تصرف الضوء عند اختراقه جسماً مبلوراً .

وما زلنا لا نعلم ماهية الضوء على وجه الدقة ، ولكن قد نقرّ أنه عبارة عن اهتزاز vibration ، وتدل التجربة على أنه يحصل انكسار لشعاع ضوئي عند مروره من وسط إلى آخر ويدل الرمز: $K = \frac{v}{vI} = \frac{\sin i}{\sin r}$ (حيث ترمز i لزاوية الورود ، و r لزاوية الانكسار ، و v لسرعة الضوء في الفراغ ، و vI للسرعة في الوسط الثاني) ، على أن الانكسار يكون دائماً نفسه ، في الجسم ذاته ، وأنه يقابل ثابتة هي **قرينة انكسار Indice de réfraction** الجسم موضوع البحث . (شكل ١٥) .

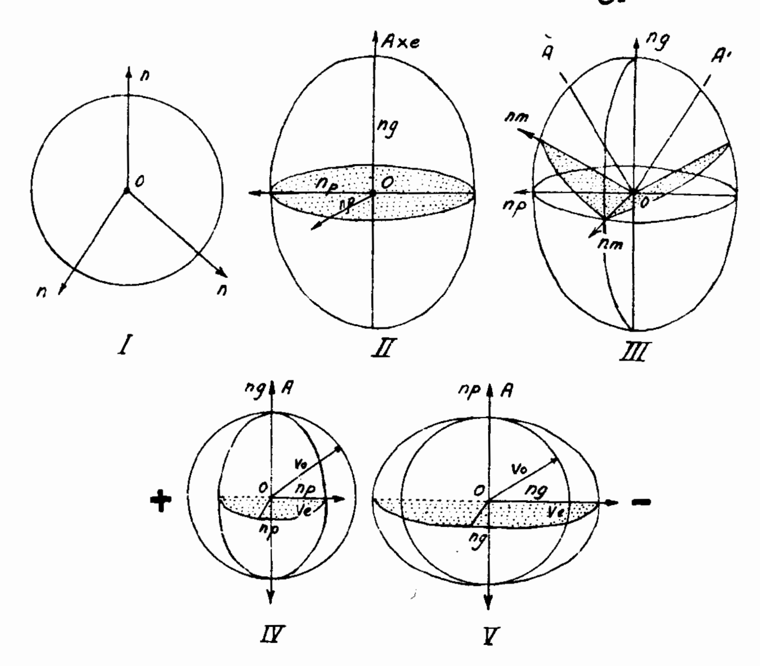


شكل ١٥ ـ **إنكسار شعاع ضوئي**. I ، في وسط متساوي الخواص isotrope ، II ، في وسط متباين الخواص (انكسار مضاعف) . i = زاوية الورود ؛ r = زاوية الانكسار ؛ ro ، شعاع عادي : re ، شعاع فوق عادي .

هذا ولا يوجد لدى بعض الأجسام عند الخروج من الوسط الثاني ، سوى شعاع واحد ؛ ويقال إن لدينا **انكسار بسيط أو وحيد** monoréfringence ، ويتصرف الجسم كوسط متساوي الخواص (شكل ١٦ ، I) . ويوجد بالنسبة لأجسام أخرى ، شعاعان عند المخرج ، ويكون لدينا إنكسار مضاعف أو ثنائية إنكسار biréfringence ويتصرف الجسم كوسط متباين الخواص anisotrope ؛ أي وسط تتحول فيه الخصائص مع الاتجاه (شكل ١٦ ، II) . وبذلك نلاحظ أن مكان نهاية الأشعة الممثلة لقرائن

الانكسار في أي نقطة من مثل هذه المادة، هو مجسم إهليلجي دوراني (مجسم القرائن الإهليلجي). وفي حالة بلورة مكعبة، فإن المجسم الإهليلجي هذا تحلّ مكانه طبعاً كرة.

ويكون لدينا، حسب المنظومة التي ينتمي إليها الجسم موضوع الدراسة، ثلاث حالات للتدقيق:



شكل ١٦ ــ انتشار شعاع ضوئي في أوساط مختلفة. I، جسم متساوي الخواص أو أحادي الانكسار (مجموعة ١): يكون سطح القرائن كرة (وتكون الاهتزازات الضوئية، في نهاية وحدة الزمن، على نفس المسافة من منبع مؤلف من نقطة ponctuelle 0).

II، جسم متباين الخواص أو ثنائي الانكسار (مجموعة ٢): المجسم الإهليلجي للقرائن هو مجسم إهليلجي دوراني (ng = قرينة كبرى، mp = قرينة صغرى)، وحيث تمثل ng المحور الضوئي فيه. ويكون المقطع الدائري للمجسم عمودياً على هذا المحور (منقط).

III، جسم متباين الخواص ثنائي المحور (مجموعة ٣): اتجاهان لأحادية الانكسار، يقابلان المحوران الضوئيان A و Á العموديان على المقطعين الدائريين من المجسم الإهليلجي (منـقطان).

IV، سطح قرائن بلورات ثنائية الانكسار أحادية المحاور: بلورات موجبة (مثلاً، مرو)، الاهتزاز، المؤخَّـر هو الاهتزاز العادي Vo (Vo < Ve).

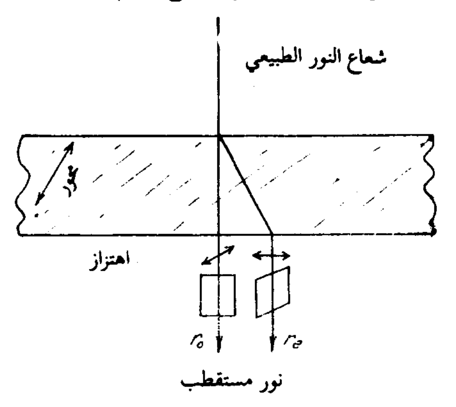
V، بلورات سالبة (مثلاً، كالسيت)، الاهتزاز المؤخَّـر هو الاهتزاز غير العادي Ve (Vo > V).

١ً ــ في بلورة من المنظومة المكعبية ، يكون فيها دائماً انكسار أحادي[1] .

٢ً ــ في بلورة من المنظومات : سادسية ، رابعية ، معينيةٍ ، يكون فيها انكسار ثنائي ، وهناك شعاع يتبع قانون الجيب (شعاع عادي) ، والآخر لا يتبعه (شعاع فوق عادي)[2] .

٣ً ــ في بلورة من المنظومات معيني مستقيم ، أحادي الميل ، ثلاثي الميل ، تكون فيها دائماً ثنائية الانكسار ، غير أن الشعاعين المنكسرين لا يتبعان قانون الجيب .

ففي الحالتين الأخيرتين ، يتضاعف إذاً الشعاع الضوئي الذي يجتاز الوسط البلوري ، بالإضافة إلى أنه يكون **مستقطباً** (شكل ١٧) .



شكل ١٧ ــ **استقطاب الضوء في بلورة ثنائية الانكسار .**

---

(١) يمكن استثنائياً لأجسام كهذه (مثلاً ، غرينا) أن تصبح ، بتأثير الحرارة والضغط ، كاسرة للضوء نوعاً ما .

(٢) في هذه الحالات تكون قيمة قرائن الأشعة عادية

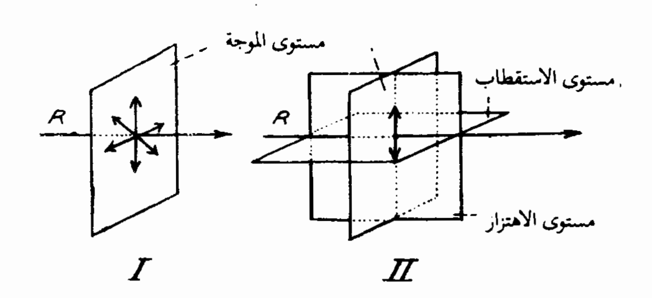
(no أو $\frac{V}{Vo}$ ، حيث تمثل لها سرعة الضوء في الفراغ)

وفوق عادي

(ne أو $\frac{V}{Ve}$)

مختلفة ، والفارق no-ne قد يكون أكبر أو أصغر من أي صفر .

ومن المعلوم أن لشعاع من الضوء الطبيعي، الخصائص ذاتها في جميع الاتجاهات؛ فالاهتزازات تتم عرضانياً، وعمودياً على اتجاه انتشار الشعاع، ولكن في مستويات متحولة للغاية. وعلى العكس، عندما يكون الضوء مستقطباً، تنحصر هذه الاهتزازات في مستوٍ واحد، هو مستوى الاهتزاز، فلا يكون للشعاع إذاً الخصائص نفسها من كل جهة منه (شكل ١٨). وعند مرور الذبذبات الناتجة، في بلورة ثنائية الانكسار، تكون موجَّهة إذاً، وتمَّت البرهنة على أن مستويات الذبذبة فيها تكون متعامدة وسرعات انتشارها، وبالتالي القرائن، تكون متفاوتة. ومن الضروري إذاً، للحصول على ضوء مستقطب نقي، فصل الأشعة. وسنرى فيما بعد، أننا نحصل على هذا الفصل، في موشور نيكول، بعملية اصطناعية حاذقة.



شكل ١٨ ــ **انتشار شعاع ضوئي**. I، ضوء طبيعي؛ في مستوي الموجة، تحصل الذبذبات في جميع الاتجاهات. II، ضوء مستقطب؛ في مستوي الموجة، لا تحصل الذبذبات إلّا في اتجاه معين (مستوي التذبذب).

ونطلق عبارة **المحور الضوئي axe optique** على اتجاه لا تملك فيه **بلورة ثنائية الانكسار**، ذلك الانكسار الثنائي؛ وبعبارة أخرى، إنه اتجاه استثنائي من انكسار أحادي، عمودي على القطاعات الدائرية لمجسَّم القرائن الإهليلجي. هذا ولا تملك بعض الفلزات (فلزاتَ منظومات: سداسية، رباعية، معينية)، سوى محور ضوئي

فيما يتعلق بصخر سبان إيسلندا، مثلاً ne = ٤٩ر١ و no = ٦٦ر١ (يقال أن البلور سالب)، وفيما يخص المؤخَّر هي الاهتزاز العادي في صخر سبات ايسلندا، والاهتزاز غير العادي في المرو (شكل ١٦، IV و ٧).

واحد، يطلق عليها **أحادية المحاور uniaxes** . وهناك فلزات أخرى (منظومات : معينية مستقيمة، أحادية الميل، ثلاثية الميل)، هي **ثنائية المحور biaxes** . ففي الفلزات الأحادية المحاور، يتطابق المحور الضوئي مع المحور الرئيسي للتناظر . أما إذا حدث أن توافق المحور الضوئي، في حالة بلورة أحادية المحور، مع اتجاه القرينة الكبرى، فالبلورة هي أحادية المحور موجبة (القرينة العادية هي أصغر دائماً من أية قرينة غير عادية والفارق بينهما موجب) . أما على العكس، إذا توافق المحور الضوئي، في بلورة كهذه، مع اتجاه القرينة الصغرى، فالبلورة سالبة . ويحتوي مجسَّم القرائن الإهليلجي لبلورة أحادية المحور، على محورين يقابلان بالتتالي القرينة الكبرى والقرينة الصغرى .

ويكون مجسم القرائن الإهليلجي متطاولاً في البلورات الموجبة، ومفلطحاً في البلورات السالبة . ويكون لمجسم القرائن الإهليلجي، في البلورات ثنائية المحاور، ثلاثة محاور تقابل على التتالي، أكبر القرائن وأصغرها وقرينة وسطية أيضاً (شكل ١٦ IV و V) . ويكون اتجاه البلورات هذا وزاوية المحاور الضوئية، كلها عناصر قابلة القياس ويستفاد منها في تحديد الفلزات .

المجهر الاستقطابي : هو مجهر يسمح بالنظر إلى شريحة رقيقة شفافة من الصخر بالضوء الطبيعي وبالضوء المستقطب . وتسمح الخصائص الفيزيائية والضوئية للفلزات المدروسة، بالتثبُّت من الأجناس الفلزية، كما تؤدي كيفية تجمع هذه الأجناس إلى تحديد الصخر موضوع الدراسة .

واستعمال المجهر الاستقطابي لا مندوحة عنه للبتروغرافيين والمينيرالوجيين[1] .

---

(١) ل . برتران و م . روبو، **الوجيز في البتروغرافيا المجهرية . استعمال المجهر الاستقطابي** (باريس لامار ١٩٣٦) .

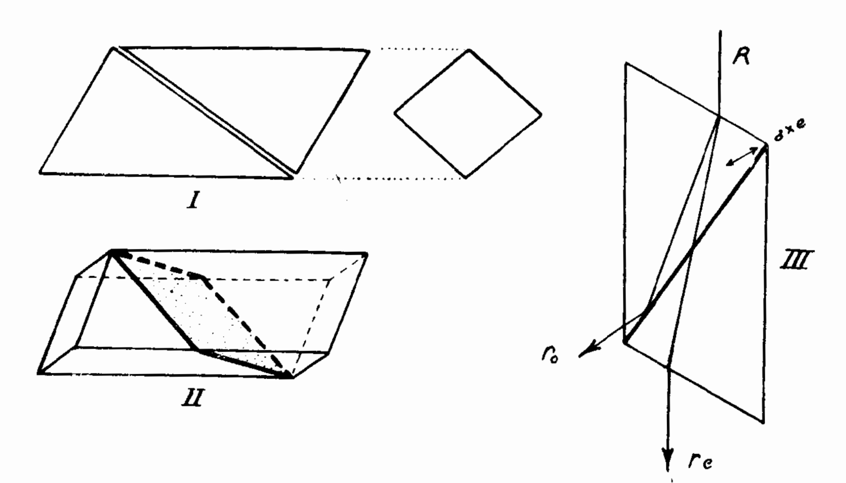
ولا يمكن للمجهر أن يذهب إلى أبعد من $\frac{1}{10}$ ميكرون، غير أنه يمكن الآن، باستعمال الأشعة السينية، أن يتوصل فحصنا للمادة بسهولة إلى البناء الشبكي على المقياس الذري . وهناك علم جديد هو الراديو ــ كريستالّوغرافيا قد نشأ وبإمكانه بالواقع قياس أجزاء الانغسترومات . لكن على هذه المستويات، فإن إعادتنا بناء الشبكات يكون حتماً تصويرياً وفي هذا قدر كبير من الكفاية .

ومن الممكن بسهولة فائقة صنع صفائح رقيقة من الصخر، حتى من أقسى أنواعه، بسماكة تصل إلى ١ أو ٣ بالمئة من الميللمتر حسب الطريقة التالية: تحزّ شظية من الصخر موضوع الدراسة، على اسطوانة من حديد الصب (فونت) دوّارة مغطاة بمسحوق السمباذج الناعم للغاية المشرَّب بالماء. ويصقل الـوُجَيْه الحاصل على هذا النحو فيما بعد على أسطوانة من زجاج دوّارة، مغطاة أولاً بماء وسمباذج ناعم للغاية ثم مبـلَّل بالماء فحسب. وتلصق الشظية عندئذ من طرف سطحها المستوي على شريحة من زجاج حاملة (porte-objet) بواسطة مرهم كندا الذي سبق تسخينه مسبقاً. ثم يشحذ بعدها القسم الناتئ من الشظية كالسابق حتى لا يعد لدينا إلّا شريحة غاية في الرقة. ويجب أن تكون العملية الثانية هذه مصحوبة بعدة فحوص مجهرية للتأكد من أن سماكة الشريحة أصبحت مناسبة. وتغسل الصفيحة بالماء عندما تصبح شفوفيتها كافية لنفحص، ثم بالغوْل، وبعد التجفيف تطلى بمرهم كندا السائل وتغطى بحاملة ساترة. ثم تعنْـوَن. وبذلك أصبحت المستحضرة جاهزة وتأخذ مكانها على بلاتين المجهر الاستقطابي. والمجهر الاستقطابي مجهر عادي فيه بلاتين دوّار مرقّـم. وفيه عيِّنـة مجهزة بشبكة (خيْطان متعامدان) ومكـيَّـف معها موشورا نيكول: أحدهما موشور بين المرآة وبلاتين المجهر الحاملة، (نيكول مستقطب)، والآخر بين الصينية والناظور (نيكول محلِّل). وموشور النيكول، على اسم مخترعه، وهو فيزيائي إنكليزي، أو ببساطة النيكول، هو جهاز مخصَّص لتوليد الضوء المستقـطِب (شكل ١٩). فهو مجسم معيني ناشئ عن انفصام صخر سبات ايسلندا (كالسيت)، شفاف للغاية، ثم قصّـه ثم نشره حسب مستو عمودي على المقطع الرئيسي[١]. ثم أعيد بعدئذٍ لصق القسمين بمرهم كندا. وكل شعاع ضوئي يقع على النيكول، بشكل موازٍ لضلع التطاول b، يصبح مزدوجاً: فالشعاع غير العادي يمـرّ لوحده، ويكون اتجاه اهتزازه هو القطر الصغير، أما الشعاع العادي، على العكس فيقضى عليه بالانعكاس الكلي على مستوى سطح مرهم كندا، الذي جرى حساب موقعه لهذا الغرض[٢].

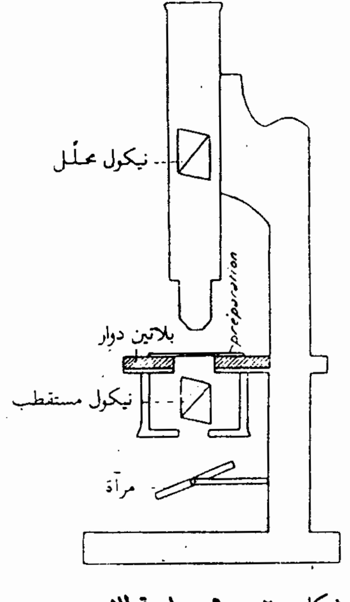
---

(١) سطح مارّ بالقطر الصغير لمعيَّـن القاعدة من المجسَّـم المعيني ويحتوي على المحور.

(٢) يقوم الجزء الداخلي، المسـوَّد، من الأنبوب الميكروسكوبي بامتصاص هذا الشعاع العادي. وتستطيع



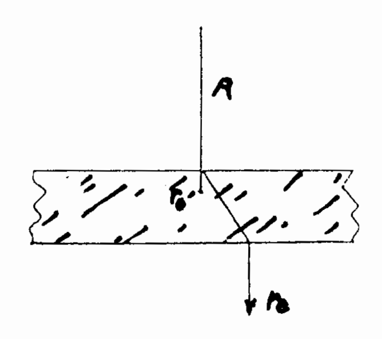
شكل ١٩ ـــ **موشور نيكول**. I، المجسم المعيني من الكالسيت (سبات ايسلندا). تمَّ نشره حسب سطح مارّ من محور مقطع رئيسي. II، أُعيد لصق القطعتين بمرهم كندا (منقَّط) بحيث يتعرض الشعاع العادي (ro) للانعكاس الكلّي ويتلاشى جانبياً، بينما يمر الشعاع غير العادي (re) لوحده وبكامله. III، مسار الأشعة المنكسرة في النيكول (R = شعاع ورود ضوئي).



شكل ٢٠ ـــ **مجهر استقطابي**.

وهكذا نحصل إذاً، عند مخرج الضوء من النيكول، على حزمة من الضوء المستقطب يكون سطح اهتزازها هو المقطع الرئيسي، الذي يمرّ بالقطر الصغير لقواعد النيكول؛ ويكون النيكول المستقطِب، في مجهرنا الاستقطابي (شكل ٢٠) مُعَدّاً لاستقطاب الضوء الذي يخترق الصفيحة الرقيقة للصخر الذي تجري دراسته، ويتم استقبال هذا الضوء عندئذ من قبل النيكول المحلّل، الذي ينقله إلى عين الفاحص.

بعض الفلزات، كالتورمالين أن تمتص الشعاع العادي بصورة جزئية بحيث لا تسمح إلا بمرور الشعاع غير العادي (شكل ٢١). وفي الماضي كان يتم استعمال هذه الخاصية للتورمالين قبل اختراع النيكول، وهو الأفضل، بسبب شفافيته الكاملة.



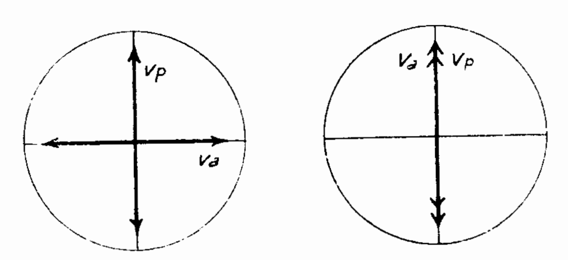
شكل ٢١ ـــ امتصاص الشعاع العادي في بلورة تورمالين

فحص بالضوء الطبيعي : يطلعنا هذا الفحص التمهيدي على شفوفية الفلزات ولونها الحقيقي ، وتعـدّد الألوان (ألوان متغيِّـرة) ، وعلى المحتبسات inclusions ، والقيم النسبية لقرائن الانكسار ، وشكل البلورات الصغيرة ، وزاوية الوجوه ، التضريس ، اتجاه الانفصامات ... إلـخ

الفحص بالضوء المستقْطَب : يتم هذا الفحص بالضوء المستقطَب المتوازي ، أو بالضوء المستقطَب المتلاقي .

وإليكم مبدأ الدراسة **بالضوء السمتقـطِب المتوازي** عندما توضع نيكولات المجهر الاستقطابي بصورة تتوافق فيه مستوياتها الاهتزازية (نيكولات متوازية) ، فالضوء يمـرُّ بكامله ؛ وفي حال تعامد مستويات الاهتزاز (نيكولات متصالبة) فلا يخترق المحـلِّل أي ضوء (شكل ٢٢) . أي كل شيء يجري إذاً كما لو كان الضوء لا يهتز إلّا في مستو محدد . وواقعياً إذا دوّرنا أحد النيكولات ، نحصل على كل تكاثفات الضوء الكاملة بين هاتين النهايتين بمعدل أربع مرّات لدورة كاملة (٣٦٠°) . توجد إذاً أربعة تعتيمات وأربع رجعات للضوء بدورة كاملة . والآن إذا أدخلنا صفيحة رقيقة ، مقتطعة من فلز أحادي الانكسار أو لا مبلور ، على بلاتين المجهر ، بين النيكولات المتصالبة ، تبقى العتمة مستمرةً حتى مع تدوير بلاتين المجهر . هذه الفلزات تكون إذاً عديمة التأثير على الضوء

المستقطب، وتبدو في مستحضرة رقيقة من الصخر، على شكل سطوح سود صغيرة (مثلاً، أوبّال، فوسفات الكلس... الخ).



شكل ٢٢ ــ نيكولات متوازية ونيكولات متصالبة.
Vp، أثر مستوي اهتزاز النيكول المستقطِب؛
Va، الأثر نفسه من أجل النيكول المحلِّل.

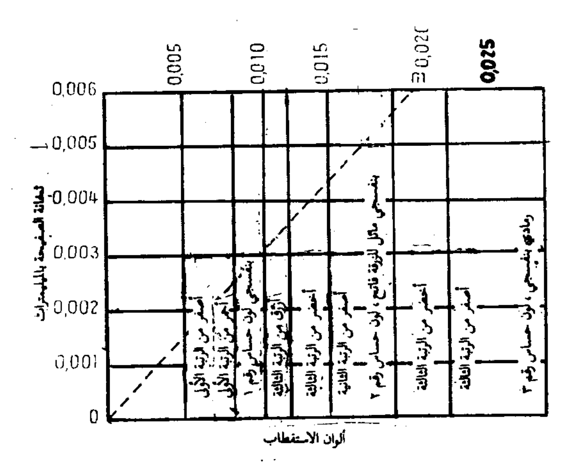
وعلى العكس، يعود الضوء للاستقرار بصورة متفاوتة باستعمال مستحضرة رقيقة من فلز ثنائي الانكسار. وفي الحقيقة يكون الضوء المستقطب، الذي يوفره لنا النيكول المستقطِب، مفككاً بفعل الصفيحة الفلزية، الثنائية الانكسار، إلى اهتزازيْن متعامديْ الاتجاه، ومختلفين في سرعتهما. ثم يعيد النيكول المحلِّل هاتين الاهتزازتين إلى مستوٍ واحد حيث يتمكنان من التداخل، أي من إجراء تحول في الشدة حتى التلاشي، ويعطي تدوير البلاتين، إذاً ضوءاً أعظمياً، ثم يؤدي إلى التعتيم من جديد. ويسمح ترقيم البلاتين، كما ذكرنا، بقياس قيمة زاوية تعتيم فلز ما بسهولة. وهذه الزاوية المميِّزة للفلز.

ولكن هناك ما هو أكثر من ذلك، فالصفيحة الثنائية الانكسار تظهر ملوَّنة. إنها الألوان الاستقطابية كما يسمونها، وهي تتناسب مع سماكة الصفيحة [1]، وبثنائية انكسار الفلز. ولما كانت الصفائح المقتطعة من الصخور لها كلها حالياً نفس

(١) إن الألوان هي ألوان سلّم نيوتن، وتتغير شدّاتها حسب سماكة الصفيحة المستحضرة، وتميز الألوان حسب التراتيب: الأول، الثاني، الثالث والرابع. ومردُّها إلى واقع كون ضوء النهار هو ضوء مركب، فإلغاء الضوء لا يمكن أن يتم هنا إلا بالنسبة لبعض الألوان، وما يتبقى منها يعطي الألوان المعقدة الملحوظة. فهي على التمام، حادثات تداخل واتحادات بين اهتزازين مستقطبيْن بزاوية قائمة، يخترقان المستحضرة البلورية بسرعات مختلفة (استقطاب لوني).

السماكة (٠٫٠٢ مم)، فإن تأثير السماكة يصبح لاغياً ولا يتعلق اللون عندئـذٍ إلّا بقرينة الانكسار، هذه القرينة المميِّـزة للفلز المدروس. فشريحة رقيقة مقتطعة من صخر اندفاعي مؤلف من عدة فلزات تظهر إذاً على شاكلة «موزاييك» أو فسيفساء ملـوَّن يكون لكل فلز فيه لونه الخاص[1].

ويستفاد من هذه الخاصة في التعرف على فلزات الصخر. وعملياً يُعتمد **جدول ميشيل ليفي و لاكروا** (شكل ٢٣)، الذي يقود إلى الأجناس الفلزية، المصنفة حسب ثنائيات انكساراتها المتصاعدة، عن طريق ملاحظة الألوان مقارنة مع الألوان العائدة لسـلَّـم ألوان يتضـمَّـن سلسلة ألوان نيوتن بترتيب يزداد ارتفاعاً؛ أي تصبح ألواناً صارخة أكثر حسب سماكة المستحضرة المدروسة ويُـدوَّن، عند فحص فلز ما، اللون الملاحظ بكثرة، وليكن t هذا اللون المشاهد على سـلَّـم الألوان المحمول على محور السينات، ثم يرفع من هذه النقطة عمود يلتقي بعمود آخر، مرفوع من محور العينات، المبيَّـن للسماكات، من نقطة تقابل سماكة الصحيفة المدروسة، بنقطة p. ويقطع الخط op الطرف الأعلى للجدول في نقطة m التي تقابل الفلـز المقصود أو الفلزات القريبة منه.



شكل ٢٣ ــ جدول ألوان ميشيل ليفي و لاكروا لثنائيات الانكسار.

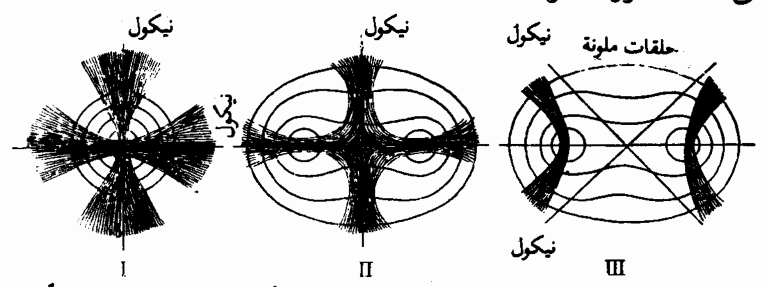
(١) غير أنه يجب ملاحظة كون هذه الألوان بالنسبة لفلزّ ما قد تتحول تحولاً ضعيفاً حسب اتجاه المقاطع، وأنه بالإمكان تحديد طبيعة هذه الاتجاهات.

ولدراسة شريحة بالضوء المستقطَب المتلاقي، **lumière polariseé convergente**، يسلَّط عليها، بدلاً من حزمة من الأشعة المتوازية، مخروطاً متلاقياً نتج عن إدخال عدسة مكثِّفة بين النيكول المستقطِب وبلاتين المجهر[1]. ولا تتحقق أية ظاهرة مع الفلزات اللا مبلورة أو فلزات المنظومة المكعبية. بينما بإمكان هذا الفحص، في حالة الفلزات ثنائية الانكسار، أن يطلعنا على محاور الفلز المدروس. ويتوجب بخاصة فحص مقاطع متعامدة على المحاور الضوئية، تلك المقاطع التي يسهل التعرف عليها، كما مرَّ معنا، من حيث أنها لا تعطي ضوءاً بين النيكولين، لأنها عمودية على اتجاه استثنائي من الانكسار الأحادي.

إذا كانت البلورة أحادية المحور، فإننا نحصل على شكل مميَّز للغاية: هو سلسلة من حلقات متحدة التمركز ملوَّنة، متقاطعة مع صليب أسود، تكون أذرعه متجهة حسب خيوط الشبيكة (شكل ٢٤، I).

وإذا لم تكن المقاطع المدروسة عمودية تماماً على المحور، فهذه الأذرع تتنقَّل متوازية مع خيوط الشبيكة عند تدوير بلاتين المجهر.

أما إذا كانت البلورة ثنائية المحور (شكل ٢٤، II و III)، وكان المقطع منحوتاً عمودياً على المنصِّف الحاد للزاوية المشكلة بالمحاور الضوئية، فإن فروع الصليب تنفصل لتعطي فرعيْ قطع زائد. ولا يبقى سوى فرع واحد في حالة نحت شريحة عمودياً على أحد المحاور الضوئية.



شكل ٢٤ ـــ مشهد الفلزات بالضوء المستقطب المتلاقي. I، بلورات أحادية المحاور منحوتة عمودياً على المحور الضوئي. II و III، بلورات ثنائيات المحاور متعامدة (III) على منصِّف المحورين الضوئيين.

---

(١) وتباع المجاهر الاستقطابية مزودة بأجهزة بسيطة جداً تسمح بهذا التطبيق.

جـ ـــ خصائص الفلزات غير السابقة

سنعدد هنا بسرعة عدداً من خصائص الفلزات القابلة الاستعمال أثناء التحديدات النوعية السريعة.

وهي: الشفوفية، اللون، البريق، شكل المكسر، القساوة، قابلية الانصهار، المذاق، الكثافة، وأخيراً الخصائص الكيميائية.

الشفوفية، القساوة، قابلية الانصهار: إن فلز شفاف يتعارض مع فلز كامد opaque، غير أن الفلز نفسه، قد يظهر بهذين المظهرين (مثلاً: مرو شفاف ومرو حليبي) إذن الشفوفية هي صفة رديئة. وفلز مبلور قد يكون شفافاً أو كامداً؛ غير أن الألوان العائدة للفلز نفسه تكون متغيِّرة (مثلاً، مرو دخاني، وردي، أخضر، بنفسجي، أصفر). إذن يكون لدينا هنا أيضاً، صفة تافهة.

وقد يكون البريق معدنياً (مثلاً، بيريت الحديد)، زجاجياً (مرو)، دهنياً (طلق)، كامداً (حوار)... الخ.

وتكون القساوة صفة جيدة تقريباً. وتقدَّر تجريبياً بالقياس مع **سلَّم قساوة موهر**، الذي تقدَّر فيه قساوة الفلّزات هذه بأعداد تتراوح بين ١ إلى ١٠؛ وتنتقى العيِّنات بصورة تنحزّ فيه كل عيِّنة بالعيِّنة التي تأتي فوراً فوقها دون أن تتمكن هي، بالمقابل، من حزِّها:

١ــ طلق ... ٢ــ جِبْس	فلزان طريّان للغاية يمكن حزّهما بالظفر
٣ــ كالسيت ... ٤ــ فلورين	فلزان يحزُّهما الزجاج
٥ــ آباتيت ... ٦ــ أورتوز	فلزان قاسيان تقريباً يحزُّهما الفولاذ
٧ــ مرو	فلز قاس يحزُّه الزجاج

٨ــ طوباز .. ..
٩ــ كورندون .... } فلزات قاسية للغاية
١٠ــ الماس ....

وتكون قابلية الانصهار هي أيضاً صفة جيدة؛ وتُدرس بواسطة شظية صغيرة من فلز ما، وتعالج بلهب الحملاج.

وتقدر بالموازنة مع **سلَّم الانصهارية لكوبل**.

١ــ ستيبين ....
٢ــ ميزوتيب .... } فلزّان ينصهران بلهب شمعة
٣ــ الماندان (أكـهب).......... فلز قابل الانصهار بسهولة بالحملاج
٤ــ أكتينوت ....
٥ــ أورتوز .... } تنصهر صغار الشظايا بالحملاج
٦ــ برونزيت .... لا تنصهر بالحملاج سوى الحافة الأكثر رقة باستدارتها

أما الكثافة فليست بصفة شديدة الدقة. وتكون تقريباً هي نفسها لبعض السيليكات كالصفاح، إنها مفيدة بخاصة في الركاز minèrais. ويتم تشخيصها عملياً بواسطة **ميزان والتر balance de Walther** أو **جهاز بيزاني Appareil de Pisani**.

الخصائص الكيميائية للفلزات التي يستفاد منها في التحديدات النوعية:

بصرف النظر عن التحليل المنهاجي الذي يسمح لوحده بالوصول إلى الدقة في تحديد نوعية الفلزات، فإن بالإمكان استعمال بعض الخصائص الكيميائية أثناء التحديدات السريعة، التي لها صفة اختبارات. ولدينا سلسلة من اختبارات تجريبية تقريباً، موجهة عندئذ للتحقق من هذه الخصائص بصورة مختصرة، لكنه كاف على العموم.

هذه التفاعلات، يمكن أن تجري تحت المجهر من جهة، (**تجارب كيميائية مجهرية**)؛ وتكون مبنية على واقع كون بعض الفلزات حسّاسة لتأثير الملوِّنات،

وبشكل أعم أكثر، على إمكانية حل بعض الفلزات، بواسطة كواشف مناسبة، لأجل المساعدة على تشكل بلورات مجهرية مميّزة (مثلاً، الكشف عن الآلومين بتشكل شبّ الكيزيوم؛ وعن الكالسيوم بتشكل الجبس... إلخ[1]).

ولدينا من جهة أخرى إمكانية إجراء **تجارب بالحملاج**. ففي طريقة **اللآلئ** كما تسمى، يستفاد من الخاصة التي تملكها بعض الأجسام كالبورق borax، أو ملح الفوسفور، في حلّ الأكاسيد المعدنية، كي تعطي تحت الحملاج وباللهب المؤكسِد، كُتَلاً زجاجية يتعلق تلوّنها بطبيعة الأوكسيد.

وتتم العملية بالاستعانة بسلك من البلاتين معقوف على شكل حلقة، يحمّى حتى الاحمرار، ويُغطّس على التوالي بالبورق الذي يسخن لتشكيل اللؤلؤة، ثم في الفلز موضوع الدراسة بعد تحويله إلى مسحوق غباري. وهناك جداول تشير إلى لون اللآلئ الحاصلة مع مختلف الأكاسيد المعدنية. وهكذا فإن أكاسيد المنغنيز تعطي، على البارد، لؤلؤة بنفسجية، وتعطي أكاسيد الكوبالت لؤلؤة زرقاء، وأكاسيد النيكل لؤلؤة سمراء... إلخ.

أما طريقة **الطلاءات enduits** فتقوم على تسخين، مسحوق فلز موضوع لوحده، أو مخلوط بآزوتات الكوبالت، في فتحة محدثة في قطعة فحم خشبي، بلهب مؤكسِد ثم مرجع. وتتكثف الإنطلاقات الغازية على شاكلة هالة حول المنطقة المسخنة. ويجري فحص لون هذه الهالة أولاً على الساخن ثم على البارد. وهكذا تعطي الأنتيمونورات والأرسينورات(*) مركبات أثمدية وزرنيخية طلاءات بيضاء متحركة،

---

(١) ج. غيلليمان، **تحليل مجهري كيفي مطبق على تحديد الأجناس الفلزية**. (نشرة مكتب التنقيبات الجيولوجية والجيوفيزيائية والمنجمية باريس ١٩٥٣). وانظر أيضاً: ل. باركر، شيوّ. **المينيرالوجيا**. البتروغرافيا. دار Milteil، مجلد ٢١، جزء ١، ١٩٤١، ص١٣٩.

(★) نسبة للآنتيموان (الأثمد) وللزرنيخ.

فطلاء الرصاص أصفر، والآلومين المبلَّل بآزوتات الكوبالت له طلاء أزرق، ويعطي أوكسيد التوتياء، في الشرائط نفسها، طلاءً أخضر ... إلخ[1].

الإنارة Luminéscence: بإمكان بعض الفلزات المعرَّضة لتأثير إشعاع منير أن تبث إشعاعات ضوئية أثناء فعل الاشعاع المذكور (تفلْور أو إستشعاع) وحتى أيضاً بعد توقف هذا الفعل (وميض فوسفوري، phosphorescence أو تفسْفر). أما ضوء وود Wood، الذي يبث إشعاعات بنفسجية وفوق بنفسجية فكثير استعماله لهذا الغرض، للكشف عن وجود بعض الفلزات (مثلاً، الفلورين يصبح بنفسجياً، الكالسيت وردياً، البلاند أخضر ... إلخ).

٢ ــ فلزات الصخور

تؤلف هذه الفلزات بتجمعها مادة **الصخور البلورية roches cristallines** نفسها، وهي ليست عديدة.

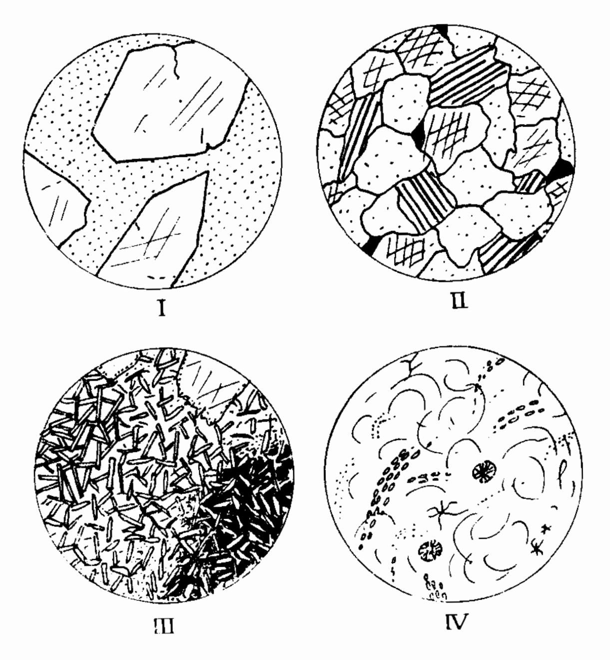
وتصدر بعض هذه الصخور المسماة **بالصخور الاندفاعية roches éruptives** عن تماسك مهل كان منصهراً في البداية ومنبثقاً من الأعماق. ومنها الصخور المسماة **كلية التبلور holocristallines** التي تتشكل فقط بتشابك جزيئات صغيرة، منتظمة تقريباً، من فلزات بلورية (بلورات ناقصة التشكل cristaux allotriomorphes) (شكل ٢٥)، لا تظهر على العموم بحالة بلورات. وتجتمع، في غيرها، إلى جانب هذه العناصر مواد فلزية غير مبلورة، هي نوع من زجاج غزير تقريباً. وتكون له السيطرة أحياناً: إنها صخور **ماتحت البلورية Hypocristallines**، وعندئذ نجد في هذه

---

(١) لقد جرى تبسيط هذه الطرائق لجعلها أكثر سهولة في استعمالها ميدانياً ــ وانظر حول هذا الموضوع: برالي. **تحديد الفلزات ودراستها** (باريس ١٩٢٧)، وفلتشر، **تجارب نوعية وكمية بالحملاج**. وفي هذه الطرائق يتم تجميع الطلاءات، على الخصوص، فوق صفيحة من الميكا ــ وانظر أيضاً: ل. تيبيو، **بحث ودراسة المكامن الحاوية على المعادن اقتصادياً** (باريس. بيرانجيه، ١٩٣١).

الصخور، على سبيل الاضافة، بلورات من فلزات حسنة التكوين (بلورات كاملة الشكل idiomorphes أو بلورات ظاهرة phénocristaux) وبلورات مجهرية متطاولة على شاكلة عصيات، أو إبـر أي **بليرات microlithes**[1]. وأخيراً وفي بعض الصخـور المؤلفة أساساً من مواد غير مبلورة زجاجية، توجد بديئات ébauches بلورية، ناعمة للغاية، ومتناهية التنـوع هي **الطلائع البلورية les cristallites**.

وتشتق جميع فلزات الصخور الاندفاعية من مهل منصهر وقد تم تماسكها على العموم حسب ترتيب ليس بالضرورة متناسباً عكسياً مع قابلية انصهارها. وسنرى أن هناك شرائط فيزيائية ـــ كيميائية معقدة نـظّـمـت هذا التبلور في المهل وأن الفلزات لم تتفرد دائماً بشكل متواصل. فبعضها حسن التكوين تبلور أولاً؛ أي في الزمان الأول، وأحيط بتجمع بلوري مؤلف من فلزات التصـلّب اللاحق أو الزمن الثاني.



شكل ٢٥ ـــ **أشكال عناصر الصخور**. I، بلورات فريدة الشكل (أو ذاتية الشكل). II، بلـورات ناقصة الشكل (أو ذات أوجه ناقصة النمو xénomorphes). III، ميكروليتات أو بليرات. IV، طلائع بلورية.

---

(١) تكتب أحياناً microlites (بحذف h).

وللصخور الرسوبية **roches sédimentaires**، التي تشكلت على سطح الكرة عن تراكم الرسوبات، بنية خاصة معقدة؛ فهي تحتوي أحياناً على فلزات الصخور السابقة، غير أنها تكون مدوَّرة. إن هذه الفلزات لم تتشكل إذاً أبداً في مواضعها in situ، وتدعى صخور رضيخة أو حطامية clastiques ou détritiques، أو غريبة المنشأ allogènes.

وعلى كل فقد أمكن مع هذا، إثبات وجود بلورات صغيرة، في هذه الصخور من مرو، ومن صفاح، وحتى إيبيدوت وتورمالين، والتي تشكلت في وسط الرسوبات نفسها، اعتباراً من عناصر كانت موجودة فيها وضمن شرائط فيزيائية ـــ كيميائية عادية لم تتطلب أية درجات حرارة، حتى ولا ضغوطاً مرتفعة. وتسمى فلزات مستجدة التشكل أو محلية المنشأ authigènes[1]. إنها نادرة نسبياً. غير أننا سنرى فيما بعد، أنه توجد في الصخور الرسوبية، وبخاصة في الصخور الكيميائية المنشأ، فلزات حقيقية مميزة لها وتشكل فيها القسم الأعظمي تقريباً.

وأخيراً فإن الصخور التي يقال لها **استحالية** أو **بلورية متورقة** **métamorphiques ou cristallophylliennes** لأنها تنجم عن طبخ وإعادة تبلور لصخور رسوبية (وحتى لصخور اندفاعية)، وتحتوي غالباً على جميع فلزات الصخور كاملة التبلور وفلزات خاصة يقال لها فلزات الاستحالة.

هذا ولا تكون فلزات الصخور متشكلة من عناصر بلورية جميلة. لكن قد تتعرض كل هذه الصخور لأن تخترق **بعروق filons**، نصادف فيها الفلزات، التي نطلق عليها اسم فلزات العروق، وتكون بغالبيتها من نفس فلزات الصخور البلورية، بيدَ أنها تشكل تجمعات جميلة لبلورات مشتركة مع فلزات أخرى أكثر ندرة ومع فلزات معدنية أو فلزات تؤلف فيها الشوائب.

وسندرس إذاً تباعاً الفلزات الرئيسة، ثم الفلزات الملحقة بالصخور الإندفاعية،

---

(١) محمد طوبكايا: **بحوث عن السيليكات المحلية المنشأ في الصخور الرسوبية**. (مجلة مخبر الجيولوجيا والمينيرالوجيا ... إلخ. في لوزان رقم ٩٧، ١٩٥٠).

ففلزات الاستحالة، وفلزات العروق والمكامن الفلزية، وأخيراً بعض فلزات مميّزة للصخور الرسوبية.

I ــ الفلزات الرئيسة في الصخور الاندفاعية

تلك هي الفلزات التي يسمح وجودها وتجمّعها من تمييز مختلف نماذج الصخور الاندفاعية والتعريف بها.

وتبيّن دراسة الصخور، أن جميع هذه الفلزات، هي سيليكات معقدة بصورة متفاوتة، بحموض سيليسية لا تزال غير معروفة [1]، مع أسس قلوية أو قلوية ترابية. وأول العناصر المتصلّبة عند صخر غني بالسيليس (SiO_2)، هي الأكثر أساسية على العموم. في حين أن الأغنى بالسيليس (الأكثر حمضية) تشكلت فيما بعد، غير أنه توجد صخور استعمل فيها كل السيليس من قبل السيليكات بحيث لم يعد فيها سيليس حر إطلاقاً.

فالسيليس يلعب إذاً دوراً كبيراً في تركيب الصخور، ولهذا تؤخذ هذه الأمور بالاعتبار عند تصنيف الفلزات الرئيسة للصخور الاندفاعية. وهكذا فإن علينا أن نميّز بادئ ذي بدء بين **عناصر بيضاء** (فلزات خفيفة أو كوفوليت لدى آ. لاكروا) فاتحة اللون، غنية بالسيليس، والقلويات (صودا، بوتاس) وبالألومين، خالية من الحديد والمغنيزيا، كثافتها أقل من ٢٫٧٧: مثلاً، مرو، صفاح «فلدسبات». وفي مقابل هذه المجموعة الأولى هناك **عناصر سوداء** (فلزات ثقيلة، باريليت حسب آ. لاكروا) داكنة اللون دائماً، فقيرة بالسيليس، حديدية ــ مغنيزية بجوهرها وتكون

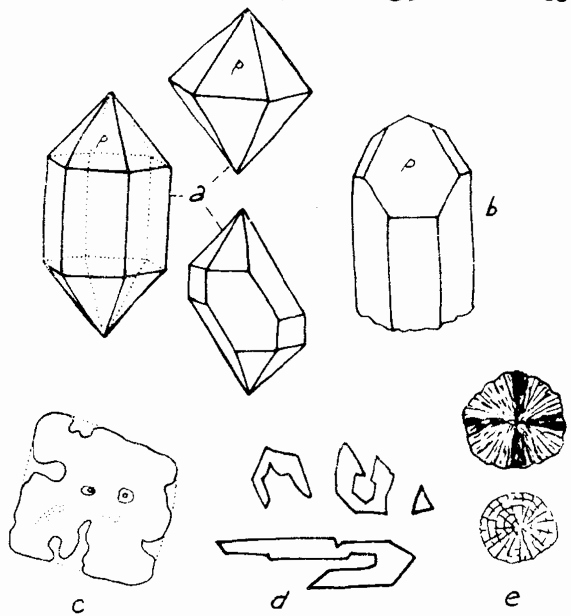
---

(١) حموض أورتوسيليسية [($Si(OH)_4$)]، ميتاسيليسية (SiO_3H_2)، بوليسيليسية ($Si_3O_8H_4$). وفي ذلك، على الأقل، الفرضية الكلاسيكية، إذ يعتقد حالياً أن هذه السيليكات «قد لا تكون أملاح حموض سيليسية معقدة، بل بالأحرى تشكيلات ذرية اعتباراً من لُحمات سيليسية وحتى سيليسية ــ ألومونية» (ف. لابادو هارغ، **حول وجود وطبيعة الرفد الكيميائي لبعض الزمر البلورية المتورقة**. مجلة الجمعية الجيولوجية. فرنسا. مجلد XV ١٩٤٥ ص٣٠٦). انظر أيضاً للمؤلف نفسه، **الوجيز في المينيرالوجيا** (باريس، ماسّون ١٩٥٤).

الكثافة دائماً أعلى من كثافة أثقل العناصر البيضاء: مثلاً، ميكا، أمفيبول، بيروكسين، بيريدو.

أ ــ المرو Quartz

إنه من السيليس النقي، رمزه SiO^2، ونظام تبلوره: سداسي ومعيني. ويدعى أيضاً بلور الصخر بسبب تبلوره غالباً ببلورات صافية جميلة مجمَّعة، وهي مواشير سداسية تنتهي بهرم: تكون هذه المواشير منعزلة أحياناً، فتصبح ثنائية الهرم (شكل ٢٦). وتأتي أجمل المرو المستعمل في الصناعة (بصريات، صياغة) من جزيرة مدغسكر، حيث عثر على بلورات شفافة ذات مقياس كبير جداً بمحيط يتراوح بين متر إلى مترين وبوزن بين ٣٠٠ إلى ٤٠٠ كغ.



شكل ٢٦ ــ **مرو الصخور**. a، مرو ثنائي الهرم. b، مرو مشدوف (الوجه p نام جداً) (وازان في جنوب شرق فرنسا). c، مرو متآكل مع محتبسات سائلة ذات فقاعة غازية متحركة. d، قضبان من مرو بغماتيتي. e، كرويات من سيليس (إلى الأعلى ظاهرة الصليب الأسود في المجهر الاستقطابي).

ولا يتفاعل المرو إلّا بحمض فلور الماء، ولهذا يكون في الطبيعة غير قابل للتحطيم، مما يجعل وجوده غزيراً في الصخور الرسوبية لدرجة كبيرة (مرو رضيخي).

ولما كان قاسياً جداً، فهو يحزّ الفولاذ، ولا ينصهر بالحملاج بل بدرجة ١٦٨٥° ليعطي زجاجاً.

ويخلو من الانفصامات، ومكسر المرو محاري أو زجاجي ومظهره مجزَّع (متشقق)، وبريقه eclat دهني مميّز.

وللمرو محور ضوئي واحد يتطابق مع المحور البلوري، وثنائية انكساره ضعيفة للغاية.

ويبدي بلور الصخر أنواعاً مبنية على وجود مواد ملوِّنة: فيكون عديم اللون، شفافاً، ذاك هو المرو الشفاف؛ ملوناً بالبنفسجي (فحوم مائية، أو مركب حديد) في مرو آميتيست، ملوناً بالأحمر (أكاسيد الحديد) في هياسنت كومبوستل، أو ملوناً بالأسود (أجسام مشعة)، وذاك هو المرو الدخاني. وفي أغلب الأحيان يكون المرو حليبياً، مصفراً، أو مخضراً (مرو كلوريتي).

وهناك نوع هام بالنسبة للجيولوجيين هو مرو العروق، إنه مرو كتلي، حليبي، يُشكل في الصخور كتلاً تطبقانية stratiformes، ناجمة عن ملء الشقوق القديمة، أو الفصمات Diaclases بمياه حارة مُمعدَنة. وهذه العروق شائعة في الصخور الاندفاعية والاستحالية، وحتى في الصخور الرسوبية السيليسية.

ومن هذه العروق ما تصل سماكاتها إلى عدة أمتار في الكتلة المركزية والألب؛ فهي تشير، في هذه السلسلة الأخيرة، إلى الفصمات التي حصلت أثناء الإلتواءات الألبية الختامية.

مرو العروق، لا يفسد عملياً، أو أكثر مقاومة من الصخور المغلِّفة له، ويعطي غالباً صفوفاً ناهضة على شكل أسوار. غير أنه تحول محلياً، بتأثير قوى تكتونية، إلى رمل حقيقي. ونعثر بخاصة، في كتلة بيللدون (فرنسا) أمثال هذه العروق، وقد أصبحت مساحيق ناعمة بإمكانها إعطاء جريانات مائية، أثناء الحفريات.

ويتخذ المرو في الشرائح الرقيقة من الصخور الإندفاعية، حيث يلعب فيها دوراً

كبيراً، الشكل المؤلف من سطوح صغيرة غير منتظمة تقريباً حيث نميِّز فيها عدة محتبسات مجهرية مميَّزة للغاية، غازية، سائلة (وجود على الأغلب فقاعة غازية متحركة) أو صلبة بأوضاع أرتال عشوائية (شكل ٢٦، c). ولهذه السطوح ثنائية انكسار ضعيفة، وتستقطب بالألوان الرمادية الزرقاء.

ويكون المرو، على الأغلب، حبيبياً في الغرانوليت والميكروغرانوليت وعلى شاكلة بلورات صغيرة ثنائية الهرم ذات زوايا مبريَّة ووجوهها مخرَّشة (مرو الزمن الأول). ويبدي البغماتيت شكلاً غريباً لقضبان غليظة زاوية الحافات، يتم تعتيمها في المجهر بآن واحد بسبب تماثل اتجاهاتها (شكل ٢٦، d).

وفي أنواع الغرانيت، لا يكون للمرو شكل بلوري واضح، ويقولب بقية العناصر (مرو الزمن الثاني)، صفاح وميكا.

ويوجد كذلك في الصخور البلورية نوع من المرو ثنائي المحور، مستدير الشكل أو كروي وذات بنية ليفية شعاعية، ذاك هو الكالسيدوان (شكل ٢٦، e). ونجد كريات كهذه بخاصة في البورفيرات (ريوليتات) حيث تتميَّز بسرعة في المجهر بظاهرة الصليب الأسود. غير أن الكالسيدوان هو أيضاً فلز شائع في الصخور الرسوبية (انظر فيما بعد ص ١٢٠).

وأخيراً، هناك نوعان من المرو، شائعان في الصخور البركانية (مثلاً، تراكيت)، هما التريديميت، وهو تجمّع من لويحات سداسيَة متوأمة باثنتين أو بثلاث (ومن ذلك جاء اسمه)، والكريستوباليت، وهو جنس ثماني الوجوه (رابعي تحت درجة ٢٢٠°) حصيلة أفعال يخمومية fumerolliennes[1].

(١) يتبلور السيليس، في مهل ما، على شاكلة تريديميت فوق ٩٠٠°، وفي أقل من هذه الحرارة يتصلب المرو، ولكن بدرجة ٥٧٥° يبدي المرو توأمية خاصة. فالسيليس هو إذاً «ميزان حرارة جيولوجي» حقيقي. ونتمكن من استخلاص الحرارة التي توصل إليها المهل المنصهر، حسب الشكل الذي يتخذه، وتوجد موازين حرارة جيولوجية أخرى بين الفلزات المتعددة الأشكال، مثلاً، الكالكوزين (انظر ص: ١٠٩).

ولنضف إلى ذلك، أن ميزان الحرارة الجيولوجية هذا قد أحرز مؤخراً تقدماً كبيراً بدراسة نظائر C^{14} و O^{15} للكربون والأوكسجين التي عثر عليها في كربونات الكالسيوم من منشأ حيوي أو فلزي، وقد أمكن الحصول على أفضل النتائج بواسطة خطوم أو بوز (مناقير) البلمنيتات، التي أمكن بواسطتها تقدير درجة حرارة توضُّع الرسوبات الجوراسية والكريتاسية.

وتُبدي سطوح مرو الصخور المرقَّقة بعوامل متعلقة بتشكل الجبال «أوروجينية»، تحت المجهر، تعتيماً متموجاً، أو مدحرجاً، بسبب عدم حصول هذا التعتيم في الوقت ذاته في جميع النقاط من السطح المدروس، الذي أصبح التوجه الضوئي فيه متبدلاً جداً.

ولنضف إلى ذلك أن الأوبال، وهو نوع من السيليس المميَّه، كثير الشيوع في الصخور الرسوبية (انظر فيما بعد ص ١٢٠)، قد يصادَف أحياناً في الصخور البركانية.

ب ــ الصفاح

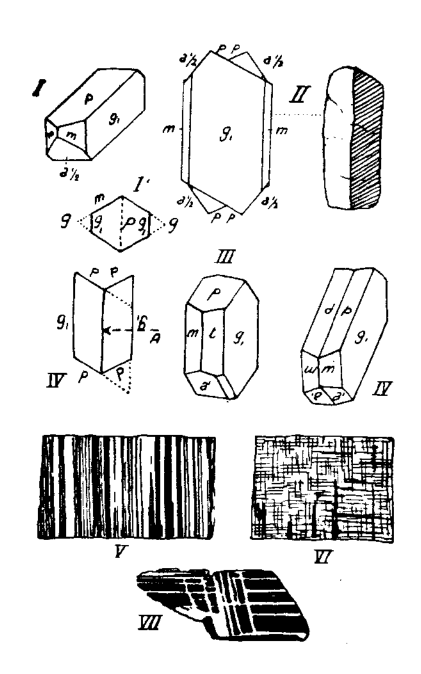
يؤلف الصفاح عائلة هامة جداً من الفلزات. فالصفاحات كلها سيليكات ألومينية، بوتاسية، صودية أو كلسية، وهي بالأساس مميِّزة لصخور القشرة الأرضية.

ويجب علينا أن نأخذ بعين الاعتبار أنواع الصفّاح بالمعنى الصحيح، أو الفلدسباتيت، أو أشباه الصفاح (فلدسباتوئيد). فالأولى تلعب دوراً كبيراً جداً في الصخور الإندفاعية القديمة، والثانية في الصخور الإندفاعية من الزمرة الحديثة (ثلاثية وحالية). ويستند التصنيف الإفرنسي للصخور على الصفاح، إذ أنه يميّز بين صخور ذات أورتوز، وصخور ذوات بلاجيوكلاز، وصخور ذوات شبه الصفاح، وصخور خالية من العناصر البيضاء. وتتمايز الزمرتان بتركيبها الكيميائي وخصائصها البلّورية.

أ ــ الصفاحات بالمعنى الصحيح «فلدسباتيد»: وهي سيليكات الألومين مجتمعة مع أساس قد يكون هو البوتاس، الصودا، الكلس: فلدينا بناء على ذلك صفاح بوتاسي، صودي (صفاح قلوي)، وصفاح كلس صودي وكلسي (شكل ٢٧)، ونصادف الصفاح بخاصة في الصخور الاندفاعية والصخور الاستحالية. وقد عثر، بصورة استثنائية على بلورات صغيرة جداً من الآلبيت المستجدّ التشكل في الصخور الرسوبية (مثلاً، كلس الترياس في داخل سلسلة الآلب).

أما من حيث خصائص الصفاح، فهي جميعها متقاربة جداً من بعضها. فقساوة الصفاح ٦ ، أما بقية الخصائص فنوردها موجزة في جدول الصفحة ٨٠

أما الساندين، فهو نوع من الأورتوز مشقّق وزجاجي، يوجد في الصخور البركانية الحديثة. والآدولير هو نوع من الأورتوز شفاف وعديم اللون في الصخور الاستحالية. والآنورتوز هو نوع من الميكروكلين الصودي ويتميَّز بتوأمية خاصة وكذلك الأمر فيما يتعلق بالبيريكلين، الذي هو نوع من الآلبيت.



شكل ٢٧ ــ **الصفاحات** I ، أورتوز متطاول حسب g¹ ؛ وفي I' ، اقتطاع الموشور الأساسي pg¹ . II ، توأمة كارلسباد (إلى اليمين مقطع لمثل هذه التوأمة بالضوء المستقطب). III ، بلورة بسيطة لبلاجيوكلاز . IV ، بلاجيوكلاز متوأم حسب قانون الآلبيت . V ، مشهد لشرائح متوأمة (دوران ١٨٠° حول محور عمودي على سطح الالتصاق Hemitropes) في بلاجيوكلاز (أوليغوكلاز) بالضوء المستقطب . VI ، تربيع الميكروكلين . VII ، تجمع توأمين، في بلاجيوكلاز من الغابرو .

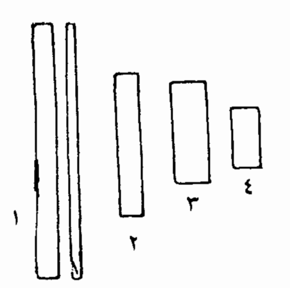
	صيغة	منظومة بلّورية	SiO_2%	الانفصام حسب تكون الزاوية Pg_1 :	الكثافة
صفاح بوتاسي	أورتوز .... $K_2OAl_2O_36SiO_2$	معيني مائل	٦٤ — ٦٨	°٩٠	٢ر٥٠ — ٢ر٥٤
	ميكروكلين ...... » » (K_2O)	معيني مائل زائف	٦٤ — ٦٨	°٩٠ ١٦َ	٢ر٥٠ — ٢ر٥٤
	بلاجيوكلاز				
	آلبيت .... » » (Na_2O)	ثلاثي الميل	٦٤ — ٦٩	°٩٣ ٣٦َ	٢ر٦١ — ٢ر٦٤
صفاح كلسي — صودي	أوليغوكلاز ...... » » $(Na\ Ca)$	ثلاثي الميل	٦٢	°٩٣ ٥٠َ	٢ر٦٤
	آنديزين .... » » $(Na\ Ca)$	ثلاثي الميل	٦٢	°٩٣ ٥٠َ	٢ر٦٧
	لابرادور .... » » $(Na\ Ca)$	ثلاثي الميل	٥٢ — ٥٤	°٩٣ ٢٠َ	٢ر٢٩
	آنورتيت .. .. $CaOAl_2O_3$	ثلاثي الميل	٤٣	°٩٣ ١٠َ	٢ر٧٦

والبيتونيت هو صفاح غني بالكلس وفقير بالصودا، فهو وسيط بين اللابرادور، والآنورتيت. نصادفه في الصخور الإندفاعية الأساسية (آنديزيت، بازلت).

ولنلاحظ أن بلورات الصفاح (بخاصة الأورتوز)، تكون دائماً متطاولة حسب الوجوه pg^1 (شكل ٢٧، I)، فهي إذاً دائماً مفلطحة حسب الاقتطاع g^1. أما بلورات الميكروكلين، وهو صفاح قريب جداً من الأورتوز بخصائصه، فإنها مزودة دائماً بتحززات عديدة متوازية.

إن جميع الصفاح الذي أتينا على ذكره لا يمكن اعتباره محدداً بوضوح من الناحية الكيميائية. فالبلاجيوكلازات التي هي صفّاحات ذات زاوية انفصام دائماً أكبر من ٩٠° يمكن اعتبارها كزمرة متشاكلة (لها نفس الشكل) حيث يحتوي كل فرد منها على نسبة مئوية مرتفعة تقريباً من الأنورتيت (من ٠٠ إلى ١٠٪ للآلبيت، ٥٠ إلى ٦٥٪ للابرادور مثلاً). فينجم عن ذلك أن التحديد الدقيق للصفاح، القائم على التركيب الكيميائي، يبقى مستحيلاً من الناحية العملية. وعلى العكس، فإن الخصائص الضوئية لمختلف هذه الفلزات هي، لحسن الحظ، قاطعة بما فيه الكفاية لدرجة نحصل بواسطتها على تحديد نوعي نسبي، إن لم يكن مؤكداً دائماً. هذا ولما كانت الصفاحات فلزات على غاية من الأهمية في دراسة الصخور، فإن وسائل تحديدها المبنية على الطرائق العادية للمجهر الاستقطابي، أصبحت على غاية من الاتقان.

صفات الصفاحات المؤلفة من شرائح رقيقة: يكون الصفاح عديم اللون، حينما يكون على شكل شرائح رقيقة وتكون ثنائية انكساره ضعيفة (الآنديزين بين سائر الفلدسباتيد أضعف ثنائية انكسار ٠٠٧ر٠) وتكون سطوح الصفاح غير شفافة على أطرافها حيث تكون مصابة بظاهرة الفساد (كَوْلنة، انظر فيما بعد ص ٨٣). وتتراوح ألوان الصفاح الاستقطابية بين الرمادي والرمادي الأزرق. وتأخذ بليرات الصفاح شكل عصيّات (شكل ٢٨) قصيرة جداً وعريضة في الأورتوز، ومتطاولة في الآلبيت و **الأوليغوكلاز**، ونصادف أشكالاً وسطى في اللابرادور والآنورتيت.



شكل ٢٨ ــ بلورات أو ميكروليتات من الصفاح.

١ ــ آلبيت و أوليغوكلاز.
٢ ــ آنورتيت.
٣ ــ لابرادور.
٤ ــ أورتوز.

وتكون التعتيمات في الأورتوز موازية لآثار الانفصام pg^1 وذلك للمقاطع الموازية للقطر المستقيم. وتكون التعتيمات في البلاجيوكلاز مائلة على P وعلى g^1 غير أنها تتحول بانتظام وتدريجياً حسب نسبة الآنورتيت.

انفصامات الصفاح: للصفاح ثلاثة انفصامات: p غير متساوية، سهلة؛ g^1، سهلة؛ m (أوجه جانبية)، صعبة. وينجم عن ذلك أن مكسر الصفاح ليس له المظهر غير المنتظم والزجاجي لدى المرو، ويكون شكل المقاطع بدوره مختلفاً أيضاً.

لون الصفاح: ويؤلف في الصفاح صفة زهيدة الأهمية. ومع هذا فالأورتوز يكون غالباً وردياً فاتحاً أو مائلاً للبياض، ويوجد نوع شفاف منه هو الأدولير. وكذلك الأمر في الميكروكلين، الذي نجد فيه نوعاً ذا لون أخضر جميل، هو الآمازونيت. أما إسم الآلبيت فمأخوذ من لونه المائل إلى البياض، غير أنه يكون على الأغلب عديم اللون، حتى أن البيريكلين، وهو نوع منه يكون مائلاً للاخضرار. وللأوليغوكلاز لونه الأبيض المائل إلى الرمادي، أو الأخضر. أما اللابرادور، فهو مميّز للغاية إذ يعطي انعكاسات لمّاعة، رمادية مزرقة أو خضراء. وأخيراً فإن الآنورتيت يميل إلى البياض ويكون شفافاً. لقد مرَّ معنا، من جهة ثانية، أن جميع أنواع الصفاح يكون عديم اللون في الصفائح الرقيقة.

توأمات الصفاح: إن توأمة الأورتوز عبارة عن دوران نصفي (١٨٠°) لسطح الالتصاق حول محور موازٍ له **Hemitropie parallèle**. وتدعى بتوأمة كارلسباد

(شكل ٢٧ II) . ويحصل تجمع البلورات حسب الوجه g¹ ويكون موازياً للمستوي القطري للموشور الأحادي الميل بعد دوران بزاوية ١٨٠°، من قبل أحد التوأمين حول محور مواز للضلع الرأسي للموشور . هذه التوأمة شائعة كثيراً وتظهر للعين المجردة بسرعة في مكسر ، إذ يبدي نصف البلورة لمعاناً بينما يبقى النصف الآخر كامداً . وتكثر هذه التوأمة في أنواع الغرانيت المسماة **بورفيروئيد** سمّاقاني (شبيه بحجر السماق) porphyroïde ؛ أي يحوي بلّورات كبيرة من الأورتوز .

وتكون توأمة الآلبيت هي دوران نصفي (١٨٠°) لسطح الالتصاق عليه وتكون متعددة التركيب وترى بالعدسة المكبرة (شكل ٢٧ ، IV) .

وتكون توأمة البيريكلين هي من نفس نمط توأمة الآلبيت ، غير أن لمحور الدوران وضعية مختلفة قليلاً ، إذ أنه لا يكون عمودياً تماماً على سطح الالتصاق . وتجتمع هذه التوأمة غالباً في الميكروكلين مع توأمة الآلبيت (شكل ٢٧ ، VI) : وتنتج عن ذلك بنية تربيعية مميّزة وناعمة . ولا يُظهر الأورتوز مطلقاً توأمة متعددة التركيب .

مكامن الصفاح: الأورتوز عنصر أساسي في الغرانيت ، البورفير ذي المرو (المروي) ، السيينيت ، الريوليت ، والفونوليت . ويؤلف الساندين بلورات جميلة في التراكيت . ويكثر الميكروكلين في الغرانيت ، وبعض أنواع السيينيت . ويبدو الآلبيت غالباً على شكل صفيحات في الأورتوز . ويجدونه أيضاً في البورفيريت ، الآنديزيت ، وحتى في الصخور البلورية المتورقة .

هذا ويجتمع الأوليغوكلاز غالباً مع الأورتوز في الغرانيت والسيينيت ، ويعثر عليه في بعض الصخور كالديوريت ، البورفير ، الآنديزيت والغنايس .

ونصادف الآنديزين في الآنديزيت ، السيينيت ، الدوليريت ، البازلت ، وبصورة عامة ، في الصخور الاندفاعية الأساسية أو القاعدية (غابرو ، ديوريت) . وأخيراً فإن اللابرادور هو الصفاح الأكثر انتشاراً في الصخور الأساسية ، من ديوريت ، وغابرو ، ودياباز ... الخ ، حتى في الأنورتيت .

تحولات الصفّاحات وفسادها : وتنجم عن أسباب عميقة (يحمومية أو مائية حرارية «هيدروترمالية»)، وهي تتمة طبيعية لتصلُّب المهل، أو لأسباب سطحية (جريان مياه حمضية)، أو عن اتحاد العوامل التي ذكرت أعلاه مع الظاهرات التكتونية.

وهكذا فإن من المقبول فيما يتعلق بالأورتوز، وهو سيليكات الألومين والبوتاس، الذي تكون قابليته للفساد ضعيفة عادة، أن باستطاعة المؤثرات الغازية المنشأ، بطردها للقلويات، تحرير الكاعولينيت، وهو سيليكات الألومين المبلورة بشكل شذرات صغيرة، مفسرين بذلك وجود بعض مكامن الكاعولان (الكوْلَنة). ولكن هناك اعتقاد أيضاً بإمكانية حصول تحولات مشابهة على مستوى أقرب من السطح، فوق مستوى سطح الماء الراكدي، وبتأثيرات مياه معدنية ساخنة. فيحصل للأورتوز تحلّل حقيقي بالماء، ترافقه إزالة البوتاس بحالة كربونات مع تحرير سيليس غرواني، مما لا يدع مجالاً إلّا لبقاء الكاعولان.

وبالواقع فإنهم يلاحظون على الأغلب أن أورتوز الغرانيت في المناطق المعتدلة يخسر شفوفيته بتأثير مياه الجريان الحمضية، ويتهشَّم إلى قطع دقيقة وحتى أنه قد يصبح مسحوقاً. ويرى ج. دو لاباران، أن عكر الصفاح ناجم عن العديد من الدخيلات من مادة يستحيل تحديد طبيعتها بدقة، ولكن يبدو أنها ناجمة عن ظاهرات التحلُّل بالماء[1]. إننا نجد في ذلك منشأ التفكك الاعتيادي للصخور الغرانيتية، وهو الذي يؤدي إلى تشكل رمل غرانيتي يدعى بـ الرمال الخشنة (arène) أو بطحاء.

وأخيراً فإن فساد الصفاح البوتاسي، في المناخات المدارية والرطبة يمكن أن يؤدي إلى تشكل ماءات الألومين (اللترتة Latéritisation)، التي تنشأ اعتباراً من سيليكات الألومين من نموذج الغضاريات التي تشكلت أولاً.

---

(١) يقر بعض المؤلفين أن هذه المادة، حصيلة مباشرة لتفكك الصفاح، هي خليطة من السيليس والألومين الغروانيين اللذين يؤديان بالتطور، إلى الفلزات الغضارية من نمط الكاؤلينيت. ونرى من خلال هذه التوضيحات السريعة، أن آلية (ميكانيكية) الكوْلنة لا تزال غير معلومة تماماً ويجب عدم الاستمرار في عرضها بالمعادلات الكيميائية البسيطة، التي نطالعها في معظم كتب الجيولوجيا.

وهناك طريقة هامة أيضاً لفساد الصفاح من زمرة البيت ــ أنورتيت، وهي التي تنجم عن اتحاد ظاهرات الفساد السطحية والعوامل الأوروجينية (الاستحالة الديناميكية). فإذا حصل الفساد في وسط بوتاسي غني بالسيليس، يتشكل سيريسيت، وهو ميكا بوتاسية خضراء وحريرية حيث تغزو شذراتها الصغيرة بلورات الصفّاح. نجد هنا ظاهرة من أكثر الظواهر شيوعاً في الألب حيث تكون جميع الصخور تقريباً صفائحية وبالتالي سيريسيتية تقريباً. وقد تنشأ في حال حصول الفساد في وسط غير بوتاسي أو قليل البوتاس، وقليل السيليس، فلزات جديدة: زويسيت، كلوريت، إيبيدوت، أوكسيد الكالسيوم وحتى الكالسيت[1]. ولما كانت جميع هذه الفلزات (باستثناء الكالسيت) ذات لون أخضر، فإننا نجد في هذا سبب تلوّن الكثير من صخور جبال الألب نفسها باللون الأخضر.

ب ــ أشباه الصفاح (الصفاحات الحديثة): وهي أيضاً سيليكو ــ ألومينات لأساس قلوي، أو قلوي ترابي؛ فهي كثيرة الشبه بالصفاح، سوى أنها تحتوي على سيليس أقل، غير أنها تلعب دوراً هاماً في الزمرة الحديثة. وأننا لا نصادفها، بالواقع، لا في الصخور الإندفاعية القديمة، ولا في الصخور الاستحالية، ولا في الصخور الرسوبية (شكل ٢٩).

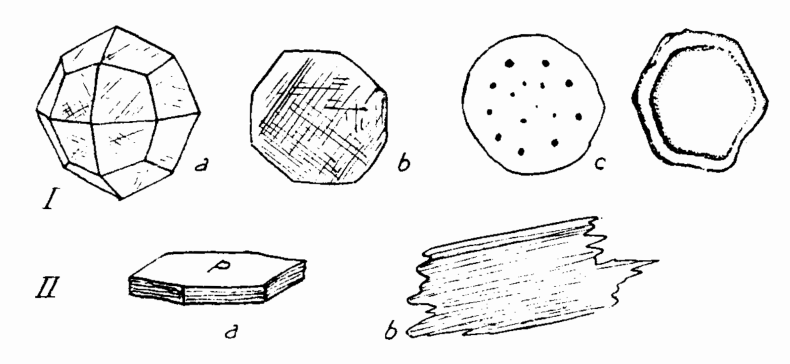
---

(١) الكلوريت هو سيليكات مائية للألومين، الحديد والمغنيزيا، بدون قلويات. والايبيدوت هو سيليكات مائي للحديد، الألومين، والكلس.

ويُفسر وجود كربونات الكالسيوم (كالسيت) بوجود أوكسيد الكالسيوم في الصفاحات الرئيسة.

وبالواقع فإن الصفّاحات التي يمكن اعتبارها بمثابة تجمعات متشاكلة (إيزومورف) من الالبيت (ثابت بالحرارة المنخفضة) والأنورتيت (ثابت بالحرارة المرتفعة وتحت ضغط منتظم) تتصرف بتفاوت حسب النطاقات التي تتطور فيها: ففي النطاقات السطحية، فإن البلاجيوكلاز يتخرب والالبيت يتوضح وتدخل العناصر الكيميائية للانورتيت في تركيب الكلوريت، الايبيدوت... إلخ. وفي النطاقات الأكثر عمقاً، حيث يمكن للأنورتيت أن يتشكل، فإن هذا الأخير بوصفه مطروداً من الصفاح، يرسب مع الالبيت بنفس الوقت على الاقسام غير المضغوطة من حبة الالبيت ليعطي بلورة ممنطقة Zoné، أكثر أساسية عند السطح منه إلى المركز (وهذا عكس ما قد يحصل عندما يتشكل الصفاح عن طريق تمايز مهل ما).

صفاحات حديثة (أشباه الصفاح)	أسس	المنظومات البلورية	Sio2%	كثافة	قساوة
لوسيت	(K,Na)	معيني مستقيم	٥٥	٢ر٥	٦
نيفيلين	(Na,K,Ca)	سداسي	٤٢ر٢٥	٢ر٦	٦
هوين	(Na,K,Ca,SO2)	مكعبي	.. ..	٢ر٣ــ٢ر٥	٥ر٥
نوزيان	(Na,K,SO3)	مكعبي	.. ..		
صوداليت	(Na,Cl)	مكعبي	.. ..		



شكل ٢٩ ــ صفاحات حديثة وميكا.

I أشباه صفاحيات ــ a، شبه منحرف الأوجه غليظ من اللوسيت، b مقطع من شبه المنحرف نفسه يبيّن الصفاحات المتوأمة، c مقطع شبه دائري لشبه المنحرف نفسه مع دخيلات بشكل أطواق أو بنية ممنطقة (صوداليت).

II ــ ميكا. a، موشور مفلطح مع وجه p من سطوح الانفصام سهل. b مقطع عمودي على سطح الانفصام p.

والإيليوليت L'éléolite هو نوع من النفيلين المائل إلى الحمرة ويوجد في السيينيت النفيلينية أو الإيليوليتية. وأهم أنواع الصفاحات الحديثة هما اللوسيت والنفيلين.

لوسيت $K_2O, Al_2O_3, 4SiO_2$ (مع قليل من الصوديوم). ويمكن كتابة هذه الصيغة أيضاً $KAl(SiO_3)_2$. فهو إذاً ميتاسيليكات.

وهذا اللوسيت معروف بخاصة بأشكاله الغليظة من أشباه منحرفة الأوجه التي يميل لونها الى البياض (مجسم محدد بأربعة وعشرين وجهاً، كل وجه منها متوازي الأضلاع). له تناظر مكعبي زائف (شكل ٢٩ ، I). وتكون هذه المجسمات شائعة في الصخور البلورية جزئياً: صخور صوتية (فونوليت)، بازلت، وهي صخور حديثة ذات مهل بوتاسي.

ويبدي المجهر لنا مقاطع مضلّعة ومدوَّرة على الأغلب وتكون هذه المقاطع عديمة اللون وشفافة تقريباً بالضوء الطبيعي، وليس لها بروزات ولا انفصامات، وتكون ثنائية انكسارها ضعيفة وتبدو البلورات الصغيرة على الأغلب كأنها متساوية الخواص isotropes. فنرى فيها دخيلات ناعمة منتظمة على شكل تيجان متمركزة حول المركز. وتكون الألوان رمادية بالضوء المستقطب ونرى البلورات الضخمة مؤلفة من عدة صفيحات متوأمة ومتصالبة.

وتكون الصخور البركانية لبعض المناطق غنية جداً ببلورات اللوسيت، ففي روكّامونفينا في ضواحي نابولي، يستثمرونها حتى على نطاق كبير في اللابات المفتتة لصنع أملاح البوتاس، وحتى الألومين، الذي يستخرجون منه الألومينيوم[1].

ويمكن للّوسيت أن يتكولن شأن الأورتوز.

نيفيلين $2SiO^2$, AL^2O^3, $(NaK)\ O^2$، وهي صيغة يمكن كتابتها $NaAlSiO^4$ (أورتوسيليكات).

والنيفيلين عديم اللون أو له مسحة رمادية ومظهر زجاجي. ويكون في الصخور بحالة مواشير سداسية صغيرة يكاد طولها يعادل عرضها وخالية من الانفصام. والإيليوليت éléolite هو نوع أحمر من النيفيلين ذو لمعان دهني.

(١) تتم معالجة بلورات اللوسيت بحمض كلور الماء الذي يعطي كلورور البوتاسيوم وألومين، وإن هذه السهولة التي تمكن الصفاحات الحديثة من الانحلال في حمض كلور الماء تجعلها تتنافر مع البلاجيوكلازات.

جـ ــ أنواع الميكا

هي سيليكات مائية للألومين والبوتاس، أو الصودا، حاوية على الأغلب على حديد ومغنيزيا، وأحياناً على تيتان، ليتيوم وفليور. وتكون أحادية الميل، وذات تناظر سداسي زائف. والصفة المشتركة، هي احتواؤها على انفصام سهل حسب القاعدة p للموشور المائل الشديد التفلطح. فهي بذلك تعطي صفيحات ناعمة للغاية، لمّاعة ومرنة (شكل ٢٩، II).

وتبدو هذه الصفيحات تحت المجهر على شكل سطوح مشرَّمة، دون أثر للانفصام، إذا كانت موازية للوجه p، وحاوية على آثار انفصام عديدة متوازية لجميع بقية الاتجاهات.

وقساوة الميكات ٥ر٢ وكثافتها تتراوح من ٧ر٢ إلى ١ر٣ (بيوتيت).

وجميع الميكات ألوميية وقلوية، غير أنه من الممكن تقسيمها حسب غناها بالمغنيزيا إلى ميكات بيضاء وميكات سوداء.

الميكات البيضاء: ويسيطر الألومين والبوتاس: هذه هي الميكات الألومينية ــ البوتاسية. ولا تحتوي أبداً على مغنيزيا، غير أنها تكون أحياناً حاوية على فلور: تلك هي عناصر بيضاء.

والليبيدوليت هي ميكا بيضاء، وأحياناً تكون وردية أو بنفسجية تحتوي على قليل من الليتيوم والحديد.

والميكا الأكثر شيوعاً هي المسكوفيت أو الميكا البيضاء العادية.

مسكوفيت $(H^2K^2)\ O,\ Al^2O^3,\ 2SiO^2$. وهي ميكا عديمة اللون أو بيضاء فضية، بخاصة عندما تقوم في الصخور بمثابة عنصر رئيسي. وهي غير قابلة لأن تتفكك بالحموض، غير أنها قد تفسد بطريقة ميكانيكية، ولهذا تكون شائعة في الصخور الرسوبية (رمال، أو أحجار رملية «حث» ميكاوية). وتكون الشذرات

الصغيرة الرضيخة من الميكا التي جرى نقلها على هذا النحو بالمياه غالباً سمراء ذات انعكاسات ذهبية.

وتكون المسكوفيت عديمة اللون في الصفائح الرقيقة، وذات تضريس محسوس. غير أنها لا تبدي تعدداً للألوان. ويكون لونها الاستقطابي حاداً أو نقياً للغاية (أخضر، أصفر أو أحمر). إنها فلزة ثنائية المحور.

وتميِّز الميكا البيضاء الغرانوليت، البغماتيت، وكذلك بعض أنواع الغرانيت. ونصادف العيِّنات الجميلة منها والتجارية في البغماتيت.

ولنتذكَّر أخيراً أن السيريسيت، التي هي نوع من المسكوفيت المائية، تكون ذات لون أخضر شاحب ناجم عن فساد الصفاح.

الميكات السوداء: وهنا يسيطر الحديد والمغنيزيا، فهي ميكات حديدية ـــ مغنيزية بصورة رئيسة؛ أي عناصر سود.

ويكون الفلوغوبيت، وهي ميكا مسودَّة، وأحياناً ضاربة للخضرة، تؤلف حداً وسطياً بين الميكات البيضاء والميكات السوداء، إذ أنها تحتوي على بوتاس وعلى مغنيزيا ولكن بدون حديد. والليبيدوميلان هي ميكا حديدية صرفة بدون مغنيزيا. غير أن أهم أنواع الميكا السوداء هي البيوتيت.

بيوتيت ـــ $(H^2K^2)\ O,\ (Al^2Fe^2)\ O^3,\ 2(MgFe)\ O,\ 3SiO^2$ وهي صيغة يمكن كتابتها: $2\ (MgFe)\ OSiO^2 + (H^2K^2)\ OAl^2O^3,\ 2SiO^2$، ويمثل التجمع الأولي سيليكات من نمط أوليفين، والثاني سيليكات من نمط مسكوفيت. ولهذا فإن بإمكاننا أن نقرّ بأن هذه الميكا السوداء هي خليط بنسب متحولة من مسكوفيت وبريدوت أوليفين. ويمكن أن نجد فيها أيضاً عرضياً أثراً من فلور و ليتيوم.

وتكون الميكا السوداء الشائعة دائماً سوداء أو ذات لون أخضر كلون القناني. وتؤلِّف شذرات لمّاعة ومفتولة. وليس لحوافها بروز كبير في الصفائح الرقيقة عند

فحصها مجهرياً، غير أن هذه الصفائح تكون ملونة بالضوء العادي وتبدي تعدداً للألوان إلّا ما كان منها موازياً للقاعدة فيكون تعدد ألوانه ضعيفاً. ويكون الانكسار متوسطاً وثنائية الانكسار مرتفعة جداً؛ مثلما تكون الألوان الاستقطابية أيضاً صارخة جداً. وتظل المقاطع القاعدية دائماً معتمة عند تصالب النيكولات، أما فيما يتعلق ببقية المقاطع، فإن التعتيمات تكون دائماً موازية لأثر الانفصامات. وعلى هذا يمكن اعتبارها أحادية المحور، إذ أن المحاور متقاربة جداً من بعضها بعضاً.

ونرى غالباً في مقاطعها الرقيقة عند فحصها مجهرياً العديد من دخيلات inclusions من آباتيت، مانيتيت، أو زركون. وتكون دخيلات الزركون هامة جداً، لأن الزركونات، كما سبق ورأينا أن لها فعّالية إشعاعية وتحاط دائماً بهالة متعددة الألوان ناجمة عن انطلاق الهيليوم. وهذه خاصة تستعمل لتقدير قِدَميّة الميكات وبالتالي قدمية الصخر الذي يشتمل عليها.

وتتفكك ميكا البيوتيت بسهولة بتأثير الحموض. فهي تفسد إذاً بسهولة في الطبيعة بإعطائها الكلوريت (فلز أخضر) ومحررة أوكسيد الحديد، والسيليس، والإيبيدوت وأحياناً الروتيل، الذي يبقى في داخلها بشكل إبر صغيرة في صفيحات الميكا المتفسخة. ويصل تحوّل الميكا السوداء إلى كلوريت على الأغلب بتأثير قوى مولّدة للجبال، والغرانيت المرقّق في جبال الألب، الذي تحولت فيه الميكا على هذا النحو إلى كلوريت يدعى بالبروتوجين (تمثلاً: بروتوجين مون بلان، وبروتوجين بلفو).

والبيوتيت هي عنصر هام للغاية لصخور عائلة الغرانيت، وكذلك لصخور الكرسانتيت والمينيت والبورفيريت.

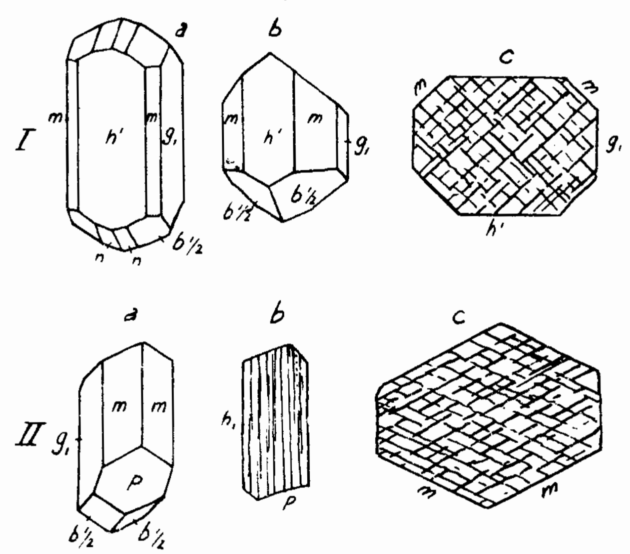
وحسب رأي آ. لاكروا، تتموه الفلوغوبيت بتماسها المتواصل مع الماء فتخسر مرونتها، وتفسد عناصرها، وتتمكن في بعض البيئات من إعطاء مرو، أوبال، وسيبيوليت، وسيليكات المغنيزيا، التي لها مظهر الكرتون المسامي الممزّق. ونذكر أيضاً إلى جانب الميكا، الأوتريليت، أو ميكا كسورة وهو ألومينيوسيليكات الحديد والمغنيزيا المائية، التي تؤلف صفيحات صغيرة مائلة للخضرة في بعض الشيست الاستحالي (شيست ذو أوتريليت).

د ــ بيروكسينات

هي ميتاسيليكات حديدية مغنيزية وكلسية ، ونادراً ما تكون ألومينية . تتبلور في منظومات معينية مستقيمة وأحادية الميل وثلاثية الميل .

ومايهمنا من هذه المنظومات هما الاثنتان الأوليتان اللتان نصادفهما بكثرة في الصخور .

وتحتوي كلها على انفصامين سهلين حسب الأوجه الجانبية m في الموشور الرئيسي . وتكون زاوية الوجوه هنا ٨٧ درجة و ٥ دقائق ، والانفصامات g^1 ، h^1 حسب الأضلاع الجانبية تكون أقل سهولة بكثير (شكل ٣٠) .



شكل ٣٠ ــ بيروكسينات و أمفيبولات

I ، بيروكسينات . P,a . بيروكسين معيني مستقيم P,b . بيروكسين أحادي الميل (أوجيت) . c ، انفصام m في مقطع مستقيم من الأوجيت .

II ، أمفيبولات . a ، موشور ذو مقطع متعامد (بدون وجه h^1) . b ، هورنبلاند في مقطع مواز لمحور الموشور . c ، مقطع من الأمفيبول عمودي على h^1g^1 ، انفصام m .

بيروكسينات معينية مستقيمة : $(MgFe)SiO^3$. وهي لا تحتوي على ألـومين ولا على كلس بل على حديد ومغنيزيا بنسب متبدلة .

وتشمل الأنستاتيت، البرونزيت والهيبرستين. ويكون الأنستاتيت هو الأغنى بالمغنيزيا والهيبرستين بالحديد.

وتفسد الأنواع الأكثر غِنى بالمغنيزيا بسهولة لتعطي سيليكات مغنيزية مائية، يميل لونها إلى الاخضرار تدعى صخر الحية (سربنتين) وأوكسيد الحديد.

إنها فلزات ذات ألوان تعتبر بالأحرى فاتحة أو مائلة إلى الاصفرار أو الاخضرار. ولها انكسار شديد وثنائية انكسار ضعيفة والصفائح الرقيقة تكون تقريباً متعددة الألوان (أخضر أو أصفر شاحب).

القساوة ٤ إلى ٦. الكثافة ٣ر١ إلى ٣ر٥.

بيروكسينات أحادية الميل: وهي الأكثر أهمية، ويصنفونها حسب غناها بالألومين: فالديوبسيد وهو خال منه ورمزه $CaMg(SiO^3)^2$، يمكن أن يكون مغنيزيّاً بكثرة؛ والأخرى دائماً ألومينية تشمل: الديالّاج، الأوجيت والأيجرين.

وتكوَّن ذات لون أسود أو أخضر غامق. وتتراوح قساوتها بين ٥ إلى ٦ وكثافتها ٣ر٧. ثنائية انكسارها شديدة.

وصيغتها العامة: $SiO^2(CaMgFe)O + nAl^2O^3$، (n يساوي عدداً متحولاً). غير أنها تحتوي دائماً على كلس أكثر من المغنيزيا.

ويتمثل الديالّاج بكتل بلّورية صفائحية المظهر، ذات بريق مخضر أو مصفر مميَّز، ويكون منظرها أحياناً برونزياً بسبب كثرة الدخيلات. وتبدي، بالإضافة إلى الانفصامات حسب الوجه m، انفصاماً نوعياً، وسهلاً h^1 موازياً لمنصِّف زاوية الوجوه m. وهو الذي يحدد المظهر المورَّق لهذا الفلز. وتبدي صفائح هذا الفلز الرقيقة أحياناً تحززات ناعمة؛ وهذه الصفائح ليست متعددة الألوان، مما يسمح لنا بتمييزها عن صفائح الميكا، التي يمكن أحياناً أن تتشابه مع الديالّاج. ذاك هو فلز رئيسي في

صخور الغابرو والإيفوتيد. ويكون ديالّاج الغابرو في جبال الألب متحولاً غالباً إلى غلوكوفان (أمفيبول قلوي) بفساد ناجم عن الاستحالة الديناميكية(١).

ويظهر الأوجيت دائماً في الصخور بحالة بلورات صغيرة ذات مظهر حبيبي أو موشوري، قصيرة (طولها يساوي عرضها تقريباً)، لها غالباً توأمة حسب h^1. مكسرها غير منتظم.

ويكون الأوجيت عديم اللون عندما يكون بحالة صفائح رقيقة أو أصفر، وبني أو أخضر. وانكساره أكبر من انكسار البيروكسين المعيني المستقيم، يبدي حادث تعدد الألوان. ونشير إلى أن بليرات (ميكروليتات) الأوجيت لها دائماً أشكال غريبة وخاصة جداً بها.

والأوجيت عنصر هام للصخور الأساسية، وبخاصة الدياباز والبازلت.

وهنالك أوجيت غني بالقلوي (Na) هو الأوجيت الأيجريني، الذي ينتقل إلى الايجرين: $NaFe(SiO^2)^2$؛ أي إلى بيروكسين صودي نصادفه في السيينيت النيفيلينية.

والجاديئيت هو أيضاً بيروكسين ألوميني صودي أخضر جميل شديد الشبه بالأيجرين.

زاوية تعتيم البيروكسينات في الوجه g^1	ديوبسيد	٣٨°
	أوجيت	٣٨° — ٥١°
	أوجيت إيجريني	٦٠°
	إيجرين	٩٥°

فساد البيروكسينات: قد تتأكسد البيروكسينات لتعطي الكلوريت، والإيبيدوت، والسربنتين، وإذا ماوجدت زيادة من حمض الكربون، فإنها تعطي كربونات المغنيزيا والأوبال. وبمقدور بعض البيروكسينات أحادية الميل، كالأوجيت أيضاً

(١) يعتبر أ. لاكروا أيضاً، أن كثيراً من صخور الشيست ذات غلوكوفان في نطاق صخور الشيست اللماعة ليس سوى غابرو مرقّق ومحوّل (أورالتة Ouralitisation) نسبة لجبال الأورال.

أن تتحول إلى أمفيبول أخضر وليفي، هو الأورالیت. تلك هي ظاهرة الأورالته (التحول إلى أوراليت) التي تتمكن بذلك من تغيير طبيعة صخر ما تغييراً جذرياً؛ فيمكن لغابرو أن يصبح على هذا النحو ديوريت (إيبيديوريت épidiorite).

هـ ـ أمفيبولات

هي كالبيروكسينات، عبارة عن ميتاسيليكات الحديد والكلس والمغنيزيا. لكنها تحوي كلساً أقل من المغنيزيا وتكون مع ألومين أو بدونه.

وصيغتها الخام $(MgCaFe)^8\ Si^9O^{26}$، ويمكن إرجاعها إلى صيغة قريبة من صيغة البيروكسين.

فمنها ما هو معيني مستقيم، أحادي الميل أو ثلاثي الميل، والاثنان الأولان، هما اللذان يلعبان لوحدهما دوراً هاماً في الصخور.

هذا ويوجد دائماً اتجاهان من الانفصام السهل، كما هو موجود عند البيروكسين، غير أن زاوية الأوجه m هنا هي ٥َ، ١٢٤° وتكون الانفصامات أكثر نعومة وأكثر انتظاماً مما هي عليه في البيروكسين (شكل ٣٠، c).

وبقية الخصائص: قساوة، كثافة، ثنائية الانكسار هي قريبة جداً من خصائص البيروكسين.

وتعطي الصفائح الرقيقة في الضوء الطبيعي ألواناً مسمرَّة أو مخضرَّة مع تعدد ألوان. ولكن يقابل تعدد الألوان هذا في البيروكسين الحد الأدنى، مما هو عليه في الأمفيبول. وتكون الألوان في الضوء المستقطب أقل فاقعيَّة، مما هي عليه في البيروكسين.

وللبلورات كما وللبليرات اتجاه تطاول حسب أضلاع الموشور الأساسي. ونصادف الأمفيبولات المعينية المستقيمة بخاصة لدى الصخور الاستحالية (مثلاً: جدريت، أنتوفيليت). وتكون الأمفيبولات الأحادية الميل هي الأكثر أهمية بالنسبة لنا. وتقسم إلى: أمفيبولات أحادية الميل غير ألومينية، تريموليت (Mg,Ca) وأكتينوت

(Mg, Ca, Fe) ؛ وأمفيبولات أحادية الميل ألومينية ، أو من أصناف الهورنبلاند (Mg, Fe, Ca, Al) ؛ أمفيبولات أحادية الميل قلوية ، غلوكوفان (Na, Fe, Ca, Mg, Al) ، ريبيكيت (Na, Fe) ، آرفدسونيت وباركيفيسيت .

ويكون الأكتينوت والتريموليت ، من فلزات الصخور الاستحالية والأساسية (غابرو) ، ويظهران غالباً على شاكلة بلورات متطاولة ، حريرية ومخضرَّة تقريباً . وتكون التريموليت ، بالأحرى مائلة إلى البياض ، والأكتينوت ذات لون أخضر قاتم . وإذا ما لحق بهذه الأمفيبولات الفساد (استحالة النطاق السطحي) ، فإنها تعطي أليافاً طويلة حريرية ومرنة ، هي الأميانت أو الأسبست وصيغتهما ($3MgO,2SiO^2,2H^2O$) ، وتستعمل في الصناعة بسبب مقاومتها لدرجات الحرارة المرتفعة ورداءة ناقليتها الحرارية ، ومن هنا جاءت تسميتها بالليف الفلزي أو المعدني . وفي جبال الألب ، فإن « الصخور الخضراء » من زمرة الشيستات اللامعات . هي كتل من الغابرو الفاسدة ، حيث توجد حولها مكامن الأميانت . والطلق ، وهو سيليكات مائية صيغته ($3MgO, 4SiO^2, (H^2O)$) . وكذلك الستياتيت أو الطلق الكتلي ، فإنهما ينجمان أيضاً عن فساد الصخور المغنيزية ذوات أمفيبول وبيروكسين ، بتأثير مؤثرات مياه معدنية ساخنة واستحالية سطحية . وهناك نوع أخضر متماسك من التريموليت هو الجاد أو نفريت الصين ، وهو مادة صلبة تستعمل في صناعة التحف . وهناك الحجر الأولليري Ollaire « البصرة » وهو مادة مشابهة .

ويمكن اعتبار الهورنبلاندات بمثابة أكتينوتات ألومينية .

وهناك نوعان من الهورنبلاندات : الهورنبلاند البازلتي . وهو أسود غني بالحديد ، والهورنبلاند العادي وهو أخضر قاتم أو أسود ، وعندما يسخَّن يفقد ماءه ليتحول إلى هورنبلاند بازلتي . فالنوع الأول هو عنصر ثانوي في الصخور الاندفاعية الأساسية (بازلت ، تراكيت ، آنديزيت) .

ويوجد الثاني في الصخور الحمضية (غرانيت ، سيينيت) والصخور الاستحالية . وهو قابل للفساد بسهولة إذ يعطي الكلوريت ، والإيبيدوت . ويذكّر

الهورنبلاند قليلاً بمظهره الخارجي بالأوجيت ، غير أن بلّوراته تكون على الأغلب أكثر تطاولاً ، موشورية وإبرية الشكل أحياناً .

وتميل المقاطع في الضوء العادي للسمرة أو الخضرة ، وتكون الألوان الاستقطابية أكثر فاقعيَّة ، والبليرات أكثر نموذجية وتطاولاً ، ويكون تعدد الألوان واضحاً ، كما تكون الخشونة أقل مما هي في البيروكسين ، مثلما تكون زاوية التعتيم في الوجه g^1 هي أيضاً ليست بالكبيرة ، فهي تتراوح بين ٥° (غلوكوفان) و ٢٥° (هورنبلاند عادي) ، وقد تصل في حالة استثنائية إلى ٨٥° في الريبيكيت .

وهناك نوع من الهورنبلاند أخضر زمردي اللون هو السماراغديت Smaragdite الذي نصادفه في الإيكلوجيت . أما الأوراليت فهو أمفيبول يحصل بتشكل زائف لبلورات البيروكسين أوجيت .

والغلوكوفان هو أمفيبول صودي ذو لون أزرق فولاذي شائع في الشيست البلوري وبخاصة في المركَّب الاستحالي الألبي للشيست اللامع . أما الريبيكيت فهو أمفيبول صودي وحديدي بالوقت نفسه ، وذو لون أسمر أو أخضر قاتم ؛ بالإضافة إلى أنه يتمتع بتعدد ألوان شديد بالأخضر أو الأزرق .

و ـــ البريدوتات Peridots

هي أورتوسيليكات مغنيزية وحديدية بشكل رئيسي ؛ أي إنها أساسية للغاية . لا تحتوي على كلس ولا على ألومين ، صيغتها العامة $2(Mg,Fe)OSiO^2$ غير أنها بالواقع تؤلف زمرة متشاكلة isomorphe تبدأ بالبريدوت المغنيزية جداً (فورستيريت) لتصل إلى البريدوت الغنية بالحديد (فاياليت) ، والحد الوسطي الأكثر شيوعاً هو الأوليفين ويسمى عادة بريدوت .

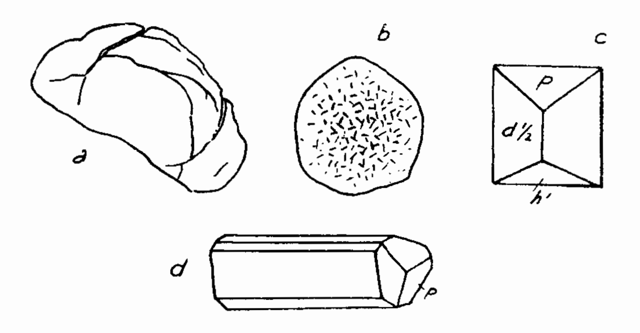
وتتبلور جميع أنواع البريدو حسب المنظومة المعينية المستقيمة .

ويظهر الأوليفين على شاكلة بلورات صغيرة موشورية أو حبيْبيَّة بلون زيت الزيتون . وتسود فيها المغنيزيا على الحديد بشكل طفيف . وتكون القساوة (٥ر٦ إلى ٧)

والكثافة (٣٫٣) مرتفعتان. وتظل المقاطع تحت عدسة المجهر عديمة اللون أو مصفرة قليلاً، غير أنها تكون دائماً مقتطعة بشقوق غليظة (شكل ٣١، a). وتكون نتوءات حافاتها واضحة جداً، والانكسار مرتفع وكذلك ثنائية الانكسار. وتكون الألوان الاستقطابية فاقعة.

والأوليفين عنصر من أول زمن في تصلب البازلت (بلورات جميلة غليظة صفراء في كتلة الصخر السوداء). ويوجد أيضاً في الدياباز والغابرو ذي البريدوت وفي إيهرزوليت. ويظهر في الأنديزيت واللابرادوريت، التي يقال عنها ذات بريدو، بحالة بليرة من ثاني زمن. ويؤلف لوحده الصخور المسماة البيريدوتيت وهي الصخور المعروفة بأنها الأكثر أساسية. وأخيراً فإنه يوجد على شاكلة تجمع بلوري ضخم تقريباً في مركز القنابل البركانية البازلتية أو بشكل حشوات في البازلت.

وتنجم معظم صخور الحية (سربنتين) عن فساد البريدوت والبيريدوتيت.



شكل ٣١ — سيليكات الصخور الثانوية. a، مقطع رقيق في بلورة بريدوت تظهر فيها الشقوق. b، بلورة حبيبية من الكورديريت مع عصيات من السيلليمانيت. c، سفين، فلز على شاكلة سقف. d، تورمالين.

II — الفلزات الثانوية في الصخور الاندفاعية

نقصد بها سيليكات أقل شيوعاً في الصخور من السابقة. والتي تفيد عامة في تعريفها، غير أنها تستعمل لتعيين أنواع منها (مثلاً: سفين، كورديريت). ومعظم

الفلزات التي أتينا على وصفها كفلزات رئيسة لبعض الصخور يمكن أن تكون ثانوية في بعضها الآخر. (مثلاً: غرانيت ذو أمفيبول، غرانيت ذو ميكا بيضاء... الخ). إن بعضاً من هذه الفلزات يحتوي على البور أو الفلور (مثلاً: توباز، تورمالين، زمرد émeraude)، وتشهد على الدور الهام الذي لعبته الأجسام الممْعدِنَة في غضون تصلّب المهل. وبعضاً آخر نصادفه بخاصة في بعض أصناف الصخور الحمضية (مثلاً: زركون) أو الأساسية (مثلاً: زيوليت). وأخيراً فإن كثيراً من الفلزات مثل بجّادي، الحديد أوليجست، المانيتيت، الإيلميت، البيريت... إلخ هي عناصر ثانوية لصخور سنأتي على وصفها فيما بعد تحت الفئتين: فلزات الاستحالة وركاز.

كورديريت: سيليكات الألومين، المغنيزيا والحديد: معيني مستقيم ويظهر على العموم على شكل بلورات صغيرة حُبَيْبيَّة ملوَّنة بالرمادي أو الأخضر أو الأزرق القاتم، وذلك في الغرانيت والغنايس. وتحتوي البلورات أحياناً على دخيلات تتشكل من عيدان صغيرة من السيلليمانيت (شكل ٣١، b).

ويمكن أن تلتبس كورديريت الصخور مع المرو، غير أنها تتميَّز عنه بانفصامها g^1. ونضيف أيضاً أن الكوارتز لا يتفكك بينما تتفكك الكورديريت كي تعطي خليطاً من الفلزات اللامتبلورة أو المورَّقة من مجموعة الميكات أو الكلوريت، والتي يتخذ مجموعها شكل البلورة الأصلية: ذاك هو البينيت Pinite. فنقول إذاً أن البينيت هو شكل زائف للكورديريت.

سفين: وهو سيليكو ــ تيتانات الكلس، أحادي الميل، مميَّز ببلوراته المفلطحة كثيراً على شاكلة سقف (شكل ٣١، c) وخشونته قوية جداً. والسفين شائع في عدد من الصخور الغرانيتية، في السيينيت، الغنايس، الأمفيبوليت... الخ يمكن أن ينشأ السفين أثناء عمليات الفساد التي تلحق ببروكسينات الغابرو (أورالتة).

كورندون: إنه الألومين Al^2O^3 مبلور. يتبلور بالمنظومة المعينية، لكنه يتخذ

شكل موشور سداسي أو هرم. وهو قاس جداً وثقيل جداً (قساوة ٩، كثافة ٩ر٣). ويعثر عليه غالباً في بعض الصخور الإندفاعية أو الإستحالية. يستعمل في صناعة الصاغة عندما يكون ملوناً بالأحمر (ياقوت) أو بالأزرق (صفير). أما السمباذج فهو خليط خاص من الكورندون، والمانيتيت والهيماتيت.

روتيل : TiO^2، ويكون بشكل إبر أو حبّات صغيرة داكنة في كثير من الصخور (بغماتيت، غنايس) رخام (سيبولان) وفي كثير من الفلزات (كوارتز). وإنه فلز يتبلور بالمنظومة الرابعية. وهو قاس جداً ولأطرافه بروزات واضحة للغاية في الضوء العادي. والآناتاز هو أوكسيد التيتان، يأخذ شكل مثمنات وجوه صغيرة ملوَّنة، على الأغلب بالزرقة، ونصادفه في بعض الصخور البلورية (منطقة أوازان في جنوب شرق فرنسا).

تورمالين : بوروسيليكات فلورية للألومينيوم مع حديد، منغنيز، مغنيزيا وقلي، يتبلور بالمنظومة المعينية وتناظره نصفي الوجوه. وله عدة أشكال (شكل ٣١، d). اللون متحوِّل: أخضر، وردي، أسمر، أسود. والقساوة ٧ إلى ٥ر٧، والكثافة قد تصل إلى ٣ أو تتجاوزها.

وبالإجمال يظهر التورمالين في الصخور على شاكلة مواشير متطاولة، رقيقة ومجمَّعة. ويبدي تعدد ألوان شديد بالضوء العادي وتمارس نشاطاً قوياً على الضوء المستقطب. ونعلم أنه يمتص الشعاع العادي وأن هذه الخاصة استعملت فيما مضى لدراسة الفلزات عن طريق الصفائح الرقيقة. غير أن لون التورمالين الخاص كان يؤلف عائقاً تلاشى باستعمال موشور نيكول (انظر **سابقاً** ص ٦٢).

والتورمالين شائعة في البغماتيت والغرانوليت، (سحنة حافة الكتل الجبلية الغرانيتية)، غنايس، غرانوليتية. وأنواع شيست بلورية أخرى... إلخ. وقد حدث تنويه بوجودها بشكل فلز مستجد التبلور (بلورات مجهرية) في بعض الصخور الرسوبية.

الزمرّد **Emeraude** : هو أيضاً بيريل، كما يسمونه. وهو سيليكات الألومينيوم

والغلوسينيوم. سداسي ذو لون أخضر. ويمكن أن يلتبس مع الأباتيت (فليوفوسفات الكلس، سداسي)، الذي يماثله بالشكل واللون، غير أن الأباتيت ينحل بحمض كلور الماء، بينما الزمرد لا ينحل. وإضافة إلى ذلك، يمكن للزمرد أن يتكوْلَن (يتحول إلى كاءولان). ونجده في البغماتيت، حيث يميِّز على الخصوص المكامن القصديرية Stannifères. ويصدر أجمل البيريل عن مدغسكر.

ويعتبر الزمرد الريحاني Aigue-Marine بيريل ذو لون أزرق مخضر.

أكسينيت: سيليكات معقدة للألومينيوم، كالسيوم، حديد، مغنيزيوم، بور. وتبدي البلورات السمراء، فاتحة اللون دائماً، أضلاعاً حادة للغاية. ويكثر وجودها في الوازان (فرنسا).

طوبّاز: سيليكات الألومينيوم الفلورية. لونه أصفر جميل. يوجد بخاصة في الغرانوليت القصديرية.

زركون: سيليكات الزركونيوم. ويمثل العنصر العرضي من الطراز الأول للسيينيت الإيليوليتية (من أنواع النيفيلين السمراء أو الخضراء) أو الزركونية. قاس جداً (يحزّ المرو)، ثنائية انكساره مرتفعة وبروزات حوافه شديدة.

أباتيت: (انظر **الزمرد**). شائع على شاكلة مواشير سداسية.

زيوليتات: هي سيليكات مائية معقدة، متنوعة (K, Na, Ca, Ba, Sr مع Al أو بدونه)، ناتجة على الأغلب عن مؤثرات فلزية ــ حرارية (وهكذا نرى في حمامات بلومبيير شرقي باريس، أن الأقنية الرومانية القديمة مسدودة بها). إنها مختصة بالصخور البركانية الأساسية. نجدها بخاصة في فجوات البازلت، والفونوليتات (الأحجار الصوتية). تنتفخ وتغلي بالمحلاج وتنحل بالحموض كي تعطي هلاماً سيليسياً.

III ـــ فلزات الصخور الاستحالية

تنجم الصخور الاستحالية عن تحوّلات طارئة على الصخور الموجودة من قبل (بخاصة الرسوبية) بتأثير مهل منصهر.

يوجد نوعان من الاستحالة: الاستحالة التماسية أو بالتماس، ناجمة عن استقرار كتلة اندفاعية في مكانها (تكون على الأغلب من الغرانيت)، تتأتّى من الأعماق، وتدخل في وسط الصخور المغلِّفة فتحولها على سماكة ما حسب هالات متمركزية يقل طبخها كلما ابتعدنا عن المركز. والاستحالة الإقليمية، وهي أوسع بكثير إذ يبدو أنها تصيب سماكات هائلة من الأراضي على مساحات شاسعة وتعمل من أسفل إلى أعلى (ديليس ١٨٥٨).

وسنتكلم فيما بعد عن هذه الظاهرات الهامة جداً بالنسبة للبتروغرافيين، إذ أنها في الغالب تدخل في نشأة الصخور التي يقال عنها بلّورية متورقة cristallophylliennes. لنحفظ الآن فقط أنه أثناء هذا الطبخ بحرارة مرتفعة وتحت ضغط كبير جداً بلا شك، يجري تفكك عناصر الفلزات، فتحصل تجمعات جديدة تعطي بعد التبرُّد المتبع بتبلور، فلزات تدعى بالاستحالية [1].

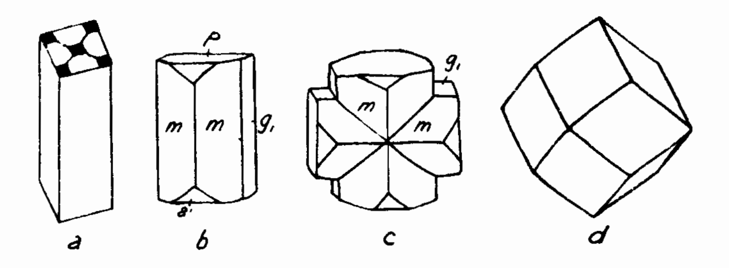
بإمكاننا أن نصنف هنا معظم الفلزات التي أتينا على دراستها (فلزات نتمكن من تسميتها بفلزات المهل. مثلاً: صفّاح، أمفيبول، زركون، كورديريت، تورمالين، أكسينيت، طوبّاز ... إلخ)، والتي تنشأ واقعياً أثناء ظاهرات الاستحالة، غير أنها لا تميِّزها نوعياً.

وهناك فلزات أخرى تتشكل بخاصة في حالة الاستحالة التماسية، وهي مميَّزة

(١) يحصل غالباً أثناء هذه التحولات قدوم قلي بيَـخْـمومات من طراز خاص، «الأعمدة الراشحة» حسب ب. ترمبيه، والتي هي على الأرجح **نفحات من الايونات bouffés d'ions**. وهذا يساعدنا على فهم ما إذا كان عدد كبير من الصخور والفلزات كتيماً تجاه المحاليل الراشحة، فيجب أن يكون أقل من ذلك تجاه الأيونات. إننا نتذكر بالواقع (انظر سابقاً ص ٧٣) أن السيليكات القلوية من طراز الصفاح يمكن اعتبارها من وجهة النظر هذه بمثابة شبكات مسامية حقيقية.

أكثر من الفلزات السابقة. وهكذا فإن الاستحالة خلال ممارستها تأثيرها على الصخور السيليكاتية والغضارية (شيست غضاري) تُنَمّي على الأرجح الفلزات التالية: آندلوزيت، سيلليمانيت، ديستين، ستوروتيد. فإذا مارست تأثيرها على ما سوى تلك الصخور (سيليسية، كلسية، مغنيزية)، فإنها تنمّي بجّادي، إيدوكراز، فريزيت، دبيير، زويسيت، كلوريت، ولنلاحظ، مع هذا، أن الإيبيدوت والكلوريت، هما من الفلزات التي يمكن أيضاً أن تحصل أثناء حادثات الفساد السطحي.

آندلوزيت: $Al^2O^3SiO^2$، وهو أيضاً يدعى توأم أو كياستوليت Chiastolite ويعتبر من فلزات الاستحالة الأكثر تمييزاً وشيوعاً (شيست كياستوليتي). معيني مستقيم. ويوجد في الصخور على شاكلة قضبان موشورية ذات مقطع مربع، عديم اللون أو ملوَّن بالأزرق، الرمادي أو الأحمر، وبريقه زجاجي. ونجد شوائب فحمية، أحياناً، انساقت في البلورة في برهة تفرّدها واتخذت أوضاعاً على شاكلة بقعات صغيرة هندسية متناظِرَة في داخل البلورات (ومن ذلك جاء اسم توأمة macle، الذي لا يزال يطلق على هذا الفلز أو باللاتينية **macula**، ولكن ليس له هنا أي مدلول تبلوري). (شكل ٣٢، a). ويوجد في الشيست البلوري والشيست الغضاري الاستحالي، وأحياناً في الغرانيت.



شكل ٣٢ ــ **سيليكات الاستحالة**. a، آندلوزيت، b، بلورة بسيطة من الستوروتيد. c، توأمة الستوروتيد بشكل صليب. d، بجّادي (اثنا عشري شبه معيني).

سيلليمانيت : سيليكات الألومين ، معيني مستقيم ، شبيه بالآندلوزيت ، غير أنه يحتوي على قليل من الحديد ، يوجد على شاكلة إبر صغيرة أو مواشير مجزأة تقريباً ومتجمعة على شكل حِـزم .

ويعطي أحياناً دخيلات في الكورديريت (شكل ٣١ ، b) . يكثر وجوده في الغنايس عند تماس الغرانيت .

ستوروتيد : (أو صليِّب croisette) سيليكات من النظام المعيني المستقيم ، ملـوَّن بالأسمر ، قاتم ، شبيه بالسابق غير أنه يحتوي ، زيادة على ذلك ، على ماء . وكثيراً ما يكون متوأماً (توأمة متصالبة ، تعطي صليب سان آندريه أو صليباً يونانياً ، ومن هنا جاءت تسميته بحجر الصليب[1] (شكل ٣٢ ، b و c) . ويوجد حصراً في الصخور الاستحالية .

ديستين : Al^2SiO^5 . ثلاثي الميل ، له شكل قضبـان متطاولـة للغايـة . وبريقـه صدفي مميَّـز . ويوجد في الشيست البلوري .

غرينا « بـجّادي » grenats : أورتوسيليكات معقدة ومتنوعـة للغايـة . يمكـن كتابـة صيغتـه العامـة : $3SiO^2$, R'^2O^3, $3RO$ ، حيث R تمثـل Mn, Fe, Mg, Ca و R' Cr, Fe, Al . ومن هنا كانت لدينا بـجّـادي ألوميني وكلسي (مثلاً : غروسّولير) ، ألوميني ــ حديدي (مثلاً : الماندان) ، حديدي وكلسي (مثلاً : ميلانيت) ، كرومي (مثلاً : أوفاروفيت) . وتكون جميع أنواع البجادي من المنظومة المكعبة ويوجد غالباً بشكل بلورات ضخمة ذات أوجه متعددة (١٢ وجهاً معينيـاً ، مجسم أوجهه أشباه منحرفة) (شكل ٣٢ ، d) . قساوته مرتفعة (٦٫٥ إلى ٧) وخشونته كبيرة . وتظل المقاطع معتمة بالضوء المستقطب في جميع الاتجاهات .

---

(١) هذه التوأمية تظهر في شعارات دوقات روهان (غرب فرنسا) .

لون البجّادي متنوع : أحمر (الماندان) ، أسود أو أخضر (أوفاروفيت) ، أسود أو أصفر (ميلانيت) ، أحمر أو ضارب إلى الرمادي (غروسّولير) . ويكون الألماندان والميلانيت ، هما الأكثر شيوعاً ويوجدان في الصخور الاندفاعية . والغروسولير لوحده يميِّز الصخور الاستحالية التماسية والشيست البلوري . أما **الإيدوكراز** فهو قريب من البجّاديات **grenats** .

فرنريت : سيليكات رابعية معقدة قلوية ـــ كلسية مع ألومين Cl, Co^2 أو SO^4 لدى الصخور الكلسية الاستحالية (سيبولان) . **والديبير (Dipyre)** . هو نوع صودي للغاية من الفرنريت نصادفه في بعض الشيست والصخور الكلسية الاستحالية وبخاصة في جبال البيرينيه .

إيبيدوت : وهو سيليكات ألومينية ـــ كلسية ، أحادي الميل ، ذو لون جميل أخضر مصفر . يؤلف غالباً تجمعات ضخمة من البلّورات العصوية في الشيست البلوري . ينجم في الشيست البلوري غالباً ، من جهة أخرى ، عن ظاهرات تفسخ سطحية لفلزات أخرى (بيروكسين ، صفّاح بلاجيوكلاز) .

زوئسيت : إيبيدوت فقيرة بالحديد ومعينية مستقيمة ، نصادفها أيضاً في الشيست البلورية . هذه السيليكات قريبة جداً من السابقة .

كلوريت : سيليكات مائية معقدة للألومين ، الحديد ، المغنيزيا بدون قلي . أحادي الميل . وهو عبارة عن فلزات بلون أخضر مزرق ، وبشكل شذرات ميّادة . توجد عدة أنواع من الكلوريت في الصخور الاستحالية (كلوريتوشيست) . يمكن أن يحصل الكلوريت أيضاً عن فساد فلزات أخرى : بيوتيت ، بيروكسين ، أمفيبول .

الطلق (Talc) : وهو سيليكات المغنيزيا المائية ، الذي يقارب من الكلوريت ونصادفه أيضاً في الشيست البلوري . **والستياتيت** وهو طلق متراص ملوَّن ليِّن ويصنَّع بالسكين : **والسربنتين** هو سيليكات المغنيزيا المائية والحديدية وشائع في

الصخور الاستحالية. وجميعها من الفلزات التي تنجم عن حادثات ثانوية للاستحالات الكاذبة « زائفة » أو عن تفكك فلزات أخرى.

كاءولينيت: غضار مبلور بشكل شذرات صغيرة صدفية. يطلقون عليه أيضاً اسم كاءولان.

ملاحظة هامة: دلّت أبحاث البتروغرافيين المتأخرين، على أنه بالإمكان التوصل إلى تبيان عمق تصلّب الصخور الاستحالية حسب التجمعات الفلزية، التي نشأت فيه أثناء الاستحالة الإقليمية.

من المتفق عليه حالياً، على أثر دراسات غروبنمان، وجود تتالي نطاقات الاستحالة الآتي، من أعلى إلى أدنى، بدءاً من الصخور القليلة التحول حتى الغرانيت الصريح.

النطاق الفوقي Epizone: نطاق الكلوريتوشيست، السيريستوشيست والفيلّلاد (ألواح حجرية).

النطاق الأوسط Mesozone: وهو نطاق من الغنايس، الإيكلوجيت، البيروكسينيت ... إلخ

النطاق السفلي Catazone = نطاق الميكاشيست

وتتوزع هذه النطاقات على سماكة كبيرة، وتتطابق مع ظاهرات إعادة تبلور بحالة الإنصهار العجيني مع تداخل حرارات وضغوط تصاعدية تدريجياً. وعلى العكس، فإننا مع الغرانيت نصل إلى نطاق المهل الناري، حيث كان الإنصهار كلياً، ولهذا السبب نجد الفلزات متجهة عمودياً على الضغوط في الصخور التي نشأت في نطاقات الاستحالة عندنا وموجهة في جميع الاتجاهات (ضغط مائي ـــ راكدي « هيدروستاتي »)، في صخور الغرانيت.

ففي النطاق الفوقي؛ أي النطاق السطحي حيث لا يزال جريان المياه شديداً

والحرارة منخفضة نسبياً، تتشكل فلزات هيدروكسيلية (كلوريت، سيريسيت). إننا نعلم من قبل، أن في هذه النطاقات السطحية، الأكثر خضوعاً للمط التكتوني (النطاق الفوقي)، تنمو على الأرجح، بعض فلزات بشكل شذرات (نسميها فلزات ورقية «فيلليتية»)، مثل: السيريسيت، الميكا، أو بشكل عصيّات مثل الإيبيدوت. وما أن يتم تشكلها، فإن هذه الفلزات تسهّل الحركات، إذ أنها حريرية أيضاً وزلقة، ويطلق عليها أيضاً اسم فلزات الاستحالة الديناميكية **(Stress-minèrals)**.

وقد لوحظ أن للفلزات المتشكلة في غضون هذه السيرورات كثافة تكون عالية بقدر ما كانت الضغوط التكتونية المنتشرة مرتفعة. وتؤدي مؤثرات الاستحالة الديناميكية لوحدها إلى نتائج مماثلة. وهكذا يمكن للأورتوز (ك = ٢٫٥) أن يتحول إلى سيريسيت أو موسكوفيت (ك = ٢٫٧ إلى ٣)، ويمكن للبلاجيوكلاز (ك = ٢٫٦)، أن يصبح إيبيدوتاً (ك = ٣٫٣)؛ ويتحول الفحم الحجري (ك = ١٫٢) إلى آنتراسيت (ك ≐ ١٫٧) أو إلى شبه الغرافيت (ك = ٢٫٢).

فلزات النطاق الفوقي: كلوريت، سيريسيت، آلبيت، غلوكوفان، ومن قبل يوجد الهورنبلاند والأيبيدوت.

فلزات النطاق الأوسط: وتوجد أيضاً فلزات هيدروكسيلية، وهكذا يكثر الأمفيبول، والديستين، والستوروتيد. ويكون البلاجيوكلاز في هذا النطاق غير مستقر، ويتفكك إلى آلبيت وزوئيسيت، وكذلك الأمر في الصفاح البوتاسي.

فلزات النطاق السفلي: وهي فلزات الحرارة المرتفعة: سيلليمانيت، كورديريت، بيروكسين. ويكون كل الصفاح في هذا النطاق ثابتاً، أوليفين، وفلز واحد هيدروكسيلي هو البيوتيت.

وهكذا ندرك إذاً أن معرفة هذه التجمعات الفلزية قادرة، عند دراسة زمر استحالية، على تقديم فوائد شبيهة بتلك التي تقدمها المستحاثات للصخور الرسوبية السليمة.

IV — الفلزات الحاوية على معادن

وهي الركازات والخامات المعدنية. أكثرها شيوعاً هي الكباريت وبخاصة مختلف أنواع البيريتات. وكلها تقريباً غير شفافة بحالة صفائح رقيقة وتتطلب دراستها استعمال تقنيات خاصة للمجهر الميتالوغرافي[1].

بيريتات: البيريت المعروف، هو بيريت الحديد (FeS_2). ويوجد في الصخور على شكلين: البيريت الأصفر أو البيريت الحديدي من المنظومة المكعبية. والبيريت الأبيض أو الماركاسيت، معيني مستقيم. ولكلاهما بريق معدني، ولا يحزهما الفولاذ وصفائحهما الرقيقة غير شفافة ويتفسخ البيريت بنوعيه في الهواء الرطب (بالأكسدة)، وبتأثير المياه الحمضية، ليعطي كبريتات الحديد مع كتل حمراء من المغرة وهي أوكسيد الحديد الترابي (ليمونيت). غير أن البيريت الأبيض يتفسخ بسهولة أكثر من البيريت الأصفر. وتجري عملية التفسخ على مرحلتين:

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O = 2SO_4Fe \text{ (كبريتات حديدي) } + 2SO_4 + 4H$$

وبتأثير حمض الكبريت المفكك والأوكسجين، تعطي كبريتات الحديدي بدورها:

$$4SO_4Fe + 2SO_4 + 4H + O_2 = 2(SO_4)_3Fe_2 \text{ (كبريتات الحديد) } + 2H_2O$$

وتُعطى زيادة حمض الكبريت المفكك، في وسط كلسي، كبريتات الكلس الذي يتموّه إلى جبس. ويتحلل كبريتات الحديد والحديدي، المتشكلان بالماء (إذ أن المحلول قد خسر حموضيته) ليعطيان هيدروكسيدات حديدية وهيدروكسيدات الحديد

(١) هو مجهر يدرس، باستعمال **الضوء الانعكاسي**، سطوحاً مصقولة من فلزات أو صخور غير شفافة (مثلاً، ركاز، فحوم حجرية ... إلخ). انظر فيما يتعلق بهذه التقنيات. ج. أورسيل **الركازات** (Les Minérais) (باريس ١٩٣٠). **ودراسة مينيرالوجية للركازات المعدنية، في مقدمة لدراسة منجمية للمستعمرات** (باريس ١٩٣٤).

(ليمونيت). وهذا الأخير ذو اللون الأحمر هو نهاية التفاعل. ومع هذا فإن بإمكان كربونات الحديد أن تتشكل أحياناً، وفي هذا نجد منشأ بعض مكامن السيدروز (مثلاً: منجم آلفارد — إيزير). وعندما يكوّن البيريت كتلاً ضخمة في صخور رسوبية منشؤها عضوي (فحم حجري، ليغنيت)، فإن الحرارة المنطلقة في غضون هذه التفاعلات الناشرة للحرارة تكون مرتفعة لدرجة (من ٣٠٠ إلى ٥٠٠°) تتمكن معها من إشعال الفحوم المغلّفة عندما ينفذ الهواء إلى أروقة المناجم[1] وهناك نوع مغناطيسي للبيريت يدعى البيروتين (Pyrrhotine).

والبيريت شائع كثيراً في الصخور حيث يكون، وذلك دون اعتبار المكامن، التي يمكن أن يتشكل فيها، إما بشكل بلورات (مكعب، ثماني الوجوه، اثنا عشري الوجوه، خماسي الزوايا... إلخ) (شكل ٣٣، a و á)، أو بشكل بقع ليس لها شكل بلوري، ويعثر على البيريت في صخور متنوعة: إندفاعية، استحالية، رسوبية.

ويكون للبيريت، في الصخور الرسوبية، عدة مظاهر. فيمكن أن يكون بحالة مادة صباغية، أو خفي التبلور، وعندئذ هو الذي يضفي على كثير من الصخور الكلسية اللون الأزرق في الأعماق ولون المغرْة على السطح. ويتأكسد هذا البيريت بالواقع ويشكل طلاءً سطحياً محمرًّاً يمتد أحياناً على عدة سنتيمترات في داخل الصخر. (مثلاً: كلس ثنائي اللون). وأحياناً، يتشكل في الصخور الرسوبية بلورات ضخمة أو زمراً بلورية مبعثرة (بيريت أصفر) أو كليْات ضخمة ثديية ذات بنية ليفية — شعاعية الشكل fobro-radieé



شكل ٣٢ مكرر — عقيْدة من بيريت حديد (ماركاشيتا) في الحوّار. (حجم طبيعي)

(١) لكن الذي يحدث غالباً هو طرائق بلانار بالرغم من هذه الحرارات المرتفعة. وبالواقع، حسب رأي مواسّان، فإن أكسدة الفحوم بدون نار يمكن أن تحصل اعتباراً من ١٠٠° (وبدرجة ٢٠٠° على العموم).

(ماركاشيتا)، بخاصة في الحوّار (شكل ٣٢ مكرر). ويحتل أيضاً، أحياناً قواقع الرخويات (مثلاً: سحنة المارن ذي الآمونيات البيريتية).

منشأ البيريتات الرسوبية: يشكل البيريت في الصخور الاندفاعية والاستحالية كومات[1] أو بقعاً بسيطة سنأتي فيما بعد على تفسيرها (انظر في الأدنى) ونقصر بحثنا الآن على قضية منشأ البيريتات الرسوبية. فتحوي الوحول الزرقاء في البحار الحالية ووحول البحيرات العذبة بالواقع على كمية كبيرة من كبريت الحديد بحالة FeS وقد أمكن متابعة سيرورة التشكل بالتأثير المرجع للمواد العضوية.

يحصل في البداية تفرُّد لكبريتات الحديد، عن طريق تفاعل مضاعف اعتباراً من كبريتات أخرى قلوية وترابية. وترجع كبريتات الحديد هذه ببكتيريا سلفيدريكية بوجود مواد عضوية؛ فيتولد FeS بينما ينطلق H_2S. ويتحول كبريت الحديدي هذا فيما بعد إلى كبريتات حديد $Fe_2(SO_4)_3$، وهذا بدوره، دوماً وبتأثير المواد العضوية، يعطي FeS، وكبريت، جسمان يتحدان مع بعضهما، ليعطيان الكبريت الثنائي FeS_2؛ أي البيريت الأبيض. وتكون هذه الحادثات رائجة وتكون فعّالة بقدر ماتكون مسهلّة بمجلوبات مياه كبريتاتية (مياه جبسية أو محتوية على كبريتات الكالسيوم) وحديدية. وفي حالات كثيرة يفكرون أيضاً، بأنه يمكن للحديد أن يصدر مباشرة عن الدم (هيموغلوبين؛ أي خضاب الدم) في جثث الحيوانات.

كالكوبيريت: $Cu_2S\ Fe_2S_3$، هو بيريت نحاسي ذو لون جميل ذهبي متقزِّح. أكثر ندرة من بيريت الحديد، ومرغوب فيه كركاز. وعلى عكس البيريت؛ فإنه يحز بسهولة بنصل الفولاذ.

كالكوزين: Cu_2S، أو بيريت النحاس. أكثر ندرة ولونه يضرب على السواد المزرّق للحديد.

---

(١) تؤلف هذه الكومات مناجم عرقية وغالباً ماتكون هامة ومتفسخة في الأجزاء السطحية (ليمونيت وكربونات الحديد).

إنه فلز يتبلور على شكلين مختلفين. غير أن تعدد الأشكال هذا خاضع للحرارة، وهكذا فالشكل المعيني المستقيم ثابت بدرجة أقل من ٩١° والشكل المكعبي ثابت في درجة حرارة أعلى. فالكالكوزين إذاً هو «ميزان حرارة» حقيقي (أورسيل)، ويمكن استعماله أثناء دراسات تتعلق بمنشأ بعض المكامن المتمعدنة.

وهناك كباريت أخرى غالباً ماتكون متجمعة مع البيريت في العروق، أو المكامن الفلزية عميقة المنشأ. وهذه هي التالية:

بلند: ZnS، أو كبريت التوتياء، مكعب الشكل ذو لون أصفر برتقالي، أو أسمر قاتم. شائع وجوده بشكل عروق في الشيست البلوري.

غالينه: PbS، أو كبريت الرصاص، مكعب الشكل، شديد اللمعان، ذو لمعان فضي. ومن جهة أخرى، غالباً مايكون فضياً. لنذكر عروق بيسي وماكو (Peisey et Macot) في جبال ألب السافوا، التي تجتاز الشيست البلوري وتنفذ حتى في كوارتزيت الترياس.

سينابر ــ أو الزنجفر، كبريت الزئبق الأحمر، معيني، طري.

ستيبين: Sb^2S^3، كبريت الأثمد يوجد بشكل كتل عصوية، ذات انعكاس مزرق.

موليبدينيت: كبريت الموليبدن MoS^2، يوجد بشكل بقع في الصخور البلورية والاستحالية.

ومن بين الأكاسيد، فإن أكاسيد الحديد هي الأكثر انتشاراً. وإن بعضها مثل: الحديد أوليجست، الماغنيتيت، الإيليمينيت، تؤلف فلزات حقيقية ثانوية للصخور الإندفاعية.

ماغنيتيت: Fe^3O^4 أو $(FeOFe^2O^3)$ مكعب الشكل، يأخذ غالباً شكل مثمن

الوجوه، ذو بريق مزرق. مسحوقه أسود، إنه فلز من زمرة **السبينلات** Spinelles أو أكاسيد مضاعفة، مكعبة وقاسية للغاية [1].

والماغنيتيت. فلز جيد للحديد، يعطي مكامن في الأراضي الاستحالية، ويوجد في البازلت بحالة بلورات صغيرة للغاية، كما أنه يوجد في بعض الصخور الرسوبية أو الاستحالية.

أوليجيست : Fe_2O_3، معيني؛ مسحوقه أحمر، يشكل صفيحات صغيرة سوداء لمّاعة في الصخور البركانية (حديد مرآوي fer Speculaire). ويشكل شذرات ناعمة يكون شفافاً بالمجهر وذا لون جميل أحمر دموي. إنه هو الذي يلوّن عدداً كبيراً من الصخور الرسوبية (مثلاً: أحجار رملية وردية اللون تعود للترياس الفوجي)، وإذا خلط بالغضار؛ فإنه يعطي الهيماتيت الأحمر. إنه ركاز شائع يجتمع أحياناً بمكامن الماغنيتيت، وأهم مكمن مشهور للأوليجيست هو مكمن جزيرة إيلب Elbe (مكمن استحالة تماسية في الصخر الكلسي).

إيلمينيت : $FeTiO_3$، حديد تيتياني؛ يجتمع غالباً مع الأوليجيست، الذي يشبهه من حيث المنظر. يعطي بالفساد، حبات من السفين.

ليمونيت : $2Fe_2O_3, 3H_2O$ أو $Fe_4O_9H_6$، إنه الهيماتيت الأسمر (مغرة صفراء) وغالباً مايكون غروانياً. كثير الشيوع ويشكل كتلاً متخثرة أو بيوضية (سرئية) في الصخور الرسوبية (مثلاً: ركاز اللورين الرسوبي، ركاز غني بالحديد). وهو الذي يشكل توضعات الحديد في البحيرات والمستنقعات التي تعتبر منتوجات غروانية خثية (طوربية Tourbeuses) ناجمة عن نشاط المتعضيات المجهرية، بكتيريا طحالب Algues).

---

(١) إن أكثر هذه السبينلات شيوعاً هو الياقوت الأحمر وهو سبينل عادي (MgO, Al_2O_3) والكروميت ($FeOCr_2O_3$)، فلز يمكّننا لوحده من الحصول على أملاح الكروم (أصفر وأخضر من لونَ الكروم). وهو غير نادر في الصخور ذوات البريدو (بريدوتيت) والسربنتين.

كاسّيتيريت : SnO، أوكسيد القصدير رابعي ذو لمعان مائل للحمرة. إنه نتاج اليحموم في المهل الغرانيتيةِ الحمضية (غرانوليت).

بيرولوزيت : MnO_2، ركاز المنغنيز الأكثر شيوعاً، والذي ينجم عن فساد غيره من الركازات. يكون بشكل كتل سوداء متخثرة أو ترابية. وتتشكل في الغضاريات الحمراء، التي تفرش قيعان المحيطات الواسعة، عقيْدات ليفية ـــ شعاعية الشكل من أوكسيد المنغنيز المائي. وتنجم التشجيرات (الداندريت) عن تسرب مياه مشحونةبأملاح المنغنيز في صَخور مختلفة أحدثت تشجُّرات غريبة سوداء (شكل ٣٤، a). ونضيف إلى ما تقدم أن مكامن المنغنيز تكون غالباً متطبقة داخل الصخور الرسوبية، حيث تنجم عن تهديم المكامن السابقة (مثلاً: مكمن إيميني، المغرب).

ولفرام : تنغستات الحديد والمنغنيز.

ميسبيكل : كبريت الحديد الزرنيخي (ذاك هو الآرسينوبيريت).

كالامين : سيليكات التوتياء، لونها يميل للأبيض. وتكون غالباً متخثرة.

سيديروز : كربونات الحديد، معيني الشكل. يأخذ غالباً شكل سكالينوئيدرات شقراء، أو سمراء. ويشكل عروقاً أو يكون بشكل كومات. وقد تنجم هذه المكامن عن فساد سطحي للكتل البيريتية في وسط كلسي (مثلاً: مكمن اللفارد في الألب) ويمكن أن تفسد بدورها فتتحول إلى ليمونيت.

كريوليت : فلورور مضاعف للألومينيوم والصوديوم. ثلاثي الميل، قابل للانصهار بسهولة بلهب الشمعة. يوجد في صخور الغنايس الحديثة في غروئنلندا. وظل هذا الفلز لزمن طويل، قبل استعمال البوكسيت، بمثابة ركاز الألومينيوم الوحيد.

بشبلاند : خليط من أوكسيد الأوران Uo_2 و Uo_3 مع قليل من **الأتربة النادرة**،

كلس، كبريت، موليبدن، رصاص. مرغوب فيه حالياً كثيراً لصناعة الأورانيوم. أهم مكامنه هي مكامن جواشيمستال (شمال بوهيميا) وكاتنغا (زائير)[1].

V ـــ فلزات الشوائب (الصخور المتضمنة فلزات قابلة الاستثمار) والمكامن غير الحاوية للمعادن

بعضها يرافق بصورة دائمة تقريباً الركازات التي تؤلف فيها غالباً الشوائب في العروق أو المكامن الفلزية (انظر فيما بعد).

ويجدون فيها بعضاً من الفلزات المدروسة سابقاً (مثلاً: مرو). ويمكن لسواها مثل الكربونات (كالسيت، آراغونيت) وكبريتات الكلس (جبس، وبلاماء الجص «آنهيدريت»)، وبعض الأملاح (ملح صخري وأملاح البوتاس)، والفوسفات، أن يشكل هنا وهناك، في القشرة الأرضية أكداساً على جانب من الأهمية: حتى أنه يشارك في حادث الترسيب العام لتشكل المكامن غير المعدنية. وسيصار إلى دراستها بالتفصيل فيما بعد (فلزات الصخور الرسوبية وصخور رسوبية).

ويمكن أن نذكر، بين الفلزات الأكثر شيوعاً وتمييزاً للشوائب، الباريتين والفلورين اللذين يجتمعان إلى المرو (الكوارتز) وكربونات الكالسيوم أو المغنيزيا.

باريتين: كبريتات الباريوم SO_4Ba، معيني مستقيم، ثقيل جداً (سبات وَزِن)، لونه أبيض صدفي أو أشقر. ويوجد الباريتين بصحبة الفلورين في عروق الغالينه والبيريت ويعثر استثنائياً، على كربونات الباريوم أو **الفيتريت** مخلوطة مع الباريتين.

---

(١) إن بقية الفلزات إشعاعية النشاط والمستعملة حالياً هي فيما يخص الأورانيوم: **الأوتونيت** (فوسفات) **الكارنوتيت** (فانادات) وفيما يخص الطوريوم: **الطوريانيت** (أوكسيد) **والمونازيت** (فوسفات). إننا نعلم أن هذه الفلزات التي هي بصورة متواصلة إشعاعات يصار إلى التنقيب عنها بعدّاد غايغر ـــ موللر أو بمقياس الوميض Scintillomètre.

فلورين : $CaFl^2$. كلس مُفَلْور ، مكعبي وشفاف ، ويكون غالباً على شاكلة بلورات جميلة ملوّنة بالأصفر ، الأخضر أو البنفسجي . ويوجد في المكامن المتمعدنة بشكل عروق متخثرة .

اباتيت : فوسفات ثلاثي الكلس يحتوي على فلوءور . ويكون بشكل بلورات سداسية ، خضر ، حمر أو بيض . يكثر في الشوائب ويكون بشكل دخيلات صغيرة جداً في الصخور الإندفاعية . ويشكل الأباتيت بلورات كبيرة في الشيست البلوري والبغماتيت والصخور الحيادية والأساسية الغنية بالميكا السوداء والأمفيبول .

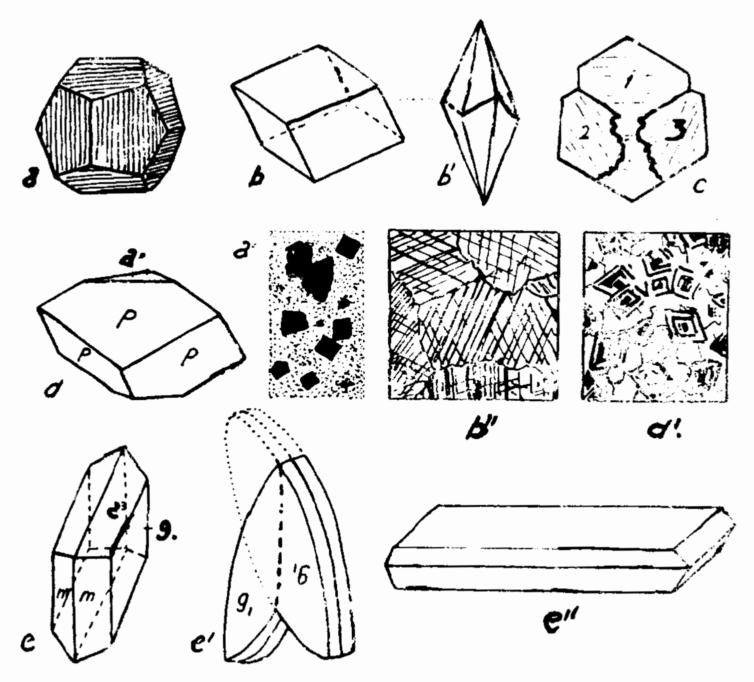
VI ــ فلزات الصخور الرسوبية

لما كانت الصخور الرسوبية قد شُيِّدت على حساب بقية الصخور (بلورية أو رسوبية أكثر قدماً) ، فإنها تحتوي إذاً على جميع العناصر وبخاصة تلك التي تكون أكثر قساوة وأقل قابلية للانحلال . ونجدها بحالة حبّات مدحرجة أو شذرات صغيرة (فيلليت)، وذلك عندما يتعلق الأمر بفلزات كالميكا ، والكلوريت ، والغضاريات (عناصر يقال عنها رضيخية أو حطامية أيضاً) . وهكذا فإن مرو الأحجار الرملية « حث » وصخور الكلس الكوارتزية ، وميكا البساميت هي عناصر حطامية . ولكن توجد إضافة إلى تلك العناصر ، المستوردة ، إذا صح القول ، عناصر موضعية نشأت في غضون توضع الصخر نفسه ، والتي يمكن أن تؤلف الصخر بكليّته أو تؤلف جزءاً منه . وأهم هذه العناصر هي : الكالسيت ، الدولوميا ، الجبس وبلاماء الجص « الآنهيدريت » الغضار ، السيليس على شاكلة صوان (Silex) ، كالسيدوان أو أوبال ، الغلوكوني ، فوسفات الكلس . ولنضيف إليها الفلزات الحديدية (أكاسيد وكلوريت ركاز الحديد) ، التي هي أساس الركاز الذي ينعتونه بالبيوضي أو السرئي ، والبيريت الذي ، كما سبق أن رأينا أعلاه (**راجع** ص ١٠٧) ، هو فلز مألوف في الصخور الرسوبية .

ويمكن لبعض الفلزات الرئيسة للصخور الإندفاعية ، أن تنشأ عرضياً في

مواقعها الطبيعية في بعض الصخور الرسوبية، ويطلقون عليها عندئذ فلزات التشكل المستجد néoformation، وتكون هذه الفلزات على الأغلب مبلورة جيداً، ولكن تبلورها يبقى مجهرياً. وهكذا نصادف المرو، الآلبيت، التورمالين، بحالة بلورات صغيرة في كثير من الصخور الرسوبية في جبال الألب (Ch.Lory).

كالسيت : CO^3Ca. كربونات الكلس، معيني وكثير الشيوع في الصخور الرسوبية (شكل ٣٣، b́، b، b̆، b). إنه فلز ضارب إلى البياض، الاصفرار أو شفاف، ينحز بسهولة ويحدث فوراناً مع الحموض بالبارد.



شكل ٣٣ ــ **فلزات الصخور الرسوبية**. a، اثنا عشر وجهاً خماسي الزوايا من بيريت الحديد يبين تحززات الوجوه حسب أضلاع المكعب. á، مكعبات مجهرية من بيريت الحديد في الرسوبات (X ٣٠)، b، كالسيت (معّين من الانفصام). b̆، سكالينوئيدر. b́، انفصام وتوأمات كالسيت الرسوبات (X٣٥). C، آراغونيت: توأمة بالتصاق ثلاثة مواشير على شاكلة موشور شبه سداسي. d، دولوميا، مجسم معيني أولي. d́، بلورات من الدولوميا، مرصعة بالكالسيت، من رسوبات (X ٣٠). e، جبس، موشور أساسي. é، جبس نصلي. e̋، جبس بشكل عصيّة موشورية.

وهناك ثلاثة انفصامات سهلة، موازية لوجوه المجسم المعيني، تعطي عدة أجسام معينية يقال عنها أجسام انفصام. ويبلغ عدد الأشكال المشتقة عن الكالسيت بحدود ١٧٠ تقريباً. أكثرها شيوعاً مع المجسم المعيني هو السكالينوئيدر. وهي ثنائية انكسار شديد (انكسار مضاعف)، مما يجعل الأنواع الأكثر شفوفية، كالتي تعرف باسم سبات إيسلندا، لأنه لم يعثر عليها حتى الآن إلّا في هذه الجزيرة، مستعملة في صناعة مواشير نيكول (انظر سابقاً ٦٢)[1].

والكالسيت هو فلز شائع كثيراً في الرسوبات، حيث يشكل لوحده، بعض الصخور المعاد تبلورها كالرخام (كالسيت حبيبي)، أو يؤلف جوهر بعض الصخور الأخرى الكلسية ذات العجينة الدقيقة (كالسيت حبيبي)، ويمكنه أيضاً أن يؤلف عروقاً في الكالكشيست (شيست كلسي). والصخور الكلسية، ويدخل في تركيب هياكل كثير من المتعضيات (مثلاً: صفيحيات الغلاصم)، التي تساهم كذلك بإغناء النسيج الكلسي لعدد كبير من الصخور الرسوبية المسماة عضوية المنشأ Organogène.

إن حادثات الظاهرات التحولية تعرض الفلزات الكلسية لتأثير المياه الحمضية عند بعض الصخور الإندفاعية أو البركانية، سهلت للكالسيت التفرد والتنقل. فالفلز يتجمع عندها في فراغات الصخر. هذا هو الحادث الذي حصل في نشأة البقع البيضاء الكلسية لـ «سبيليت الدراك» والبلورات الجميلة لفلز شفاف نجده في الفجوات الواسعة لبازلت إيسلندا.

ويمكن للكالسيت أن يؤلف القسم الأعظم من الصخور الاستحالية كالسيبولان «المرمر» والشيست اللامع في جبال الألب.

ولما كان الكالسيت ذواباً في المياه (الغنية بغاز الكربون) الكربونيكية، فإنه، من هذا المنطلق، كثير التنقل للغاية فيمكنه إذاً أن يُنقل إلى مسافات كبيرة، وذلك

(١) يجدون أيضاً في ترياس القفقاس الغربية، أنواعاً جميلة صافية للغاية من الكالسيت قابلة التخصيص لمثل هذه الاستعمالات.

عندما تتحقق بعض الشرائط، أن يترسَّب بشكل طف، ترافرتان، صواعد... إلخ وهي صخور سندرسها فيما بعد في فصل الصخور الكلسية.

آراغونيت: كربونات الكلس، معيني مستقيم. لا يلعب في الصخور أكثر من دور ضئيل بالمقارنة مع دور الكالسيت (شكل ٣٣، c). ويوجد في الصخور غالباً بشكل عُصيّات موشورية متجمعة. والكالسيت هو الذي يشكل قوقعة صفيحيات الغلاصم، وبما أنه أقل انحلالاً في المياه الحمضية من الآراغونيت، فذلك يفسِّر سبب كون بنية قوقعة صفيحيات الغلاصم، تبقى محفوظة غالباً، بينما بنية قوقعة معديات الأرجل المؤلفة من الآراغونيت تكون على الأغلب مخرَّبة. **والكتيبّييت Ctypéite** هو نوع من الآراغونيت الحمّصي (إذاً له بنية ليفية ــ شعاعية)، الذي كان لدناً وغروانياً (حمّصات مقولبة بعضها على بعض) بالأصل، والذي قد يمتزّ الملوِّنات.

دولوميا: CO_3Ca, CO_3Mg، وهو خليطة متشاكلة Isomorphe من كربونات الكلس وكربونات المغنيزيا، قليلة الانحلال حتى في الحموض القوية. هذه هي الخاصة التي لفتت انتباه الجيولوجي الدوفيني دولوميو Dolomieu، مكتشفها، في غضون رحلة في التيرول (دولوميا متأتية من دولوميو . وتوسعت فيما بعد إلى دولوميت، وهي بلاد جبلية تتألف في معظمها من الدولوميا).

والدولوميا أقسى بقليل من الكالسيت: تنتسب، مثل الكالسيت، إلى المنظومة المعينية [1] (شكل ٣٣، d و d').

وهي شائعة نوعاً ما في الصخور الرسوبية حيث تكون بحالة مجسَّمات معينية صغيرة مجهرية مشحونة (ومن هنا كان الملمس الخشن للصخور الدولوميتية) غارقة في قاع كلسي. ويظهر الفارق في قابلية الانحلال لنوعي الكربونات: كالسيت ودولوميا، عند بعض الصخور بظاهرات حتية غريبة (دولوميا فراغية أو كهفية)، وهي التي سنتحدث عنها.

---

(١) **الجيوبرتيت** هو فلز نادر نوعاً ما ويتألف من فحمات المغنيزيا حصراً.

آنهيدريت : SO^4Ca، كبريتات الكلس اللامائية، من المنظومة المعينية المستقيمة، يؤلف على الأغلب بلورات ضاربة إلى البياض ومتشابكة. لها قساوة ومظهر المرمر. غير أن الآنهيدريت لا يتأثر بالحموض وبإمكانه، من جهة أخرى، التمّوه بغاية السهولة ليعطي الجبس: وتترافق هذه الظاهرة بانطلاق حرارة وبخاصة بتورم قد يصل إلى ٤٠٪.

جبس : $SO^4Ca. 2H^2O$، فلز ضارب إلى البياض (عندما يكون متكتلاً) أو يكون شفافاً، عندما يكون «متبلوراً» (شكل ٣٣، ́e، é، e) يلوَّن أحياناً بالوردي، طري جداً (يحزه الظفر بسهولة) وقابل للانحلال بالماء (أكثر بقليل من غرامين في الليتر).

وفي الألب، يجتمع دائماً الجبس والآنهيدريت في الترياس، حيث تكون هذه الفلزات نامية فيه لدرجة تصل معها إلى تأليف صخور حقيقية، مميزة لهذا الطابق. وفي هذا الطابق يبدو أن الآنهيدريت هو بدائياً على الأغلب (ومن منشأ بحيري ملح «لاغوني»). وقد فسد فيما بعد ليعطي الجبس الذي يظهر دائماً على شاكلة قشرة سطحية، لها بعض السماكة أحياناً، تكسو نوى من الآنهيدريت (بلاماء الجص).

غير أن بمقدور الجبس إعطاء بلورات جميلة منعزلة أيضاً. وهذه هي حالة الجبس المسمى نصل الرمح، ويعود للإيوسين الأعلى في الحوض الباريسي. لقد اكتشفوا في ضواحي غرينوبل أثناء حفر نفق في ضواحي المور (La Mure)، جيباً انحلالياً في الترياس، حافلاً بعصيات رائعة من الجبس، ذات أطوال تبلغ عدة ديسمترات. وتطلق عبارة (وردة الصحاري) على تجمعات من بلورات الجبس ملوَّنة بالبرتقالي وتنشأ في السبخات أو الشطوط (Chotts) الصحراوية. وأخيراً يُعثر أحياناً على بلورات من الجبس ذات حجوم كبيرة أحياناً في تشكيلات غير بحيرية ملحة، حيث يمكننا إذا صح القول، أن نقول عنها أنها ليست في مواضعها (مثلاً: بلورات جص المارن كولّلوفو ــ أوكسفوردي أو الغضاريات الجليدية لضواحي غرينوبل)، هذا ما يعنونه بقولهم عنه أنه (جص مجدَّد الولادة). وبالواقع، فإن هذه البلورات تنجم إما عن

جريان مياه جبسية، أو عن تفكك البيريت في وسط كلسي (تشكل كبريتات الحديد، ثم كبريتات الكلس (انظر فيما مضى ص ١٠٧).

ونعلم أن الجبس يفيد في صنع الجص (PLâtre) ومعجون المرمر (Stuc) (بعد خلطه بالصمغ)، وأنه يؤلف مادة قيّمة لتسميد الأرض[١].

الغضاريات: وهي سيليكات الألومين المائية، تنجم عن فساد عدد كبير من الفلزات الألومينية: وتدخل هذه الفلزات الغضارية في أساس الصخور الرسوبية المسماة. غضار مارن، شيست وكلس غضاري... إلخ، التي سنتكلم عنها وحيث تكون مجتمعة إلى مواد رضيخة غزيرة.

إن الغضار ــ الفلز، الذي يهمنا لوحده هنا، يمكن أن يوجد في هذه الصخور على أشكال مختلفة، وهي التي سنقوم بالتحدث عنها أيضاً في معرض دراستنا للغضاريات الصخرية. ونذكر من بين هذه الأشكال أكثرها أهمية وهي: الهالوفان (Al^2O^3, SiO^2, nH^2O). وهو نوع من الغضار عديم الشكل وغرواني، الكاءولينيت، الهالوازيت، والمونموريلونيت (ظهور Mg و Ca)، وهي أنواع مبلورة على شاكلة شذرات صغيرة ضاربة إلى الأبيض، صدفية، عديمة اللون أو رمادية. ويتجلى الغضار تقريباً دائماً بهذين الشكلين في الصخور الغضارية. غير أن المركب الغضاري الأكثر شيوعاً في الغضاريات العادية هو البرافيزيت، أو إيلليت، الذي هو نوع ميكاوي.

الكاءولان (المميَّز بوجود الكاءولينيت) والذي يتأتى من تفكك الصخور الصفاحية ذوات الأورتوز هو غضار أبيض، نقي إلى حدّ ما، يستعمل في صناعة البورسلان.

وسنرى أن الرسوبات الغضارية هي صخور معقدة، غير نقية وملوَّنة وتصبح لدنة بتأثير الماء.

---

(١) إنه يحوِّل واقعياً في الأرض كربونات البوتاس إلى كبريتات البوتاس وهي مادة يسهل تمثُّلها من قبل النباتات.

سيليس الصخور الرسوبية: ذاك هو الكالسيدوان، سيليس (SiO^2) ثنائي المحور ومميَّز ببنيته الليفية [1]، والأوبال، سيليس غير مبلور أو عديم الشكل، مائي ذواب. ويؤلف الكالسيدوان مجتمعاً مع الأوبال، في الصخور الرسوبية، مواد تدعى بالصوان Silex، الذي سنتكلم عنه فيما بعد عند دراستنا للصخور السيليسية؛ ونضيف إلى ذلك، أنه يمكن أن يغلّف المواد المؤلَّفة من فحمات الكلس العضوية المنشأ، لكن بدون أن يملئ أبداً فراغات الراسب المغلّف. ويمكن للأوبال أن يوجد في بعض الصخور (صخور الإسفنجيات، غضاريات ذوات صوان...إلخ) على شاكلة كريات صغيرة (شكل ٣٤، d)، ونحن نعلم أنه هو الذي يؤلف بعض أعداد من عديمات الفقريات (قواقع المشطورات، شوكيات الإسفنجيات، جسيمات المشطورات). وقد يكون منشأ هذه التشكيلات السيليسية المختلفة عائداً إلى سيليس هذه المتعضيات، المحرر بمياه البحر، غير أن هذا ليس بالمنشأ الوحيد للسيليس، إذ أن السيليس برأي سولّاس Sollas قد يكون من منشأ فلزي جزئياً (انحلال حبات صغيرة من الرمال، مثلاً).

لقد تشكلت الصوانات فوق القاع البحري بنفس الوقت تقريباً الذي تشكلت فيه الرسوبات الحاوية عليها والتي نجدها مصفوفة فيها غالباً، بشكل سافات أو حبال وحتى أن تصلبها من المؤكد كان سريعاً تقريباً. ومن الأرجح أنها تشكلت بالأصل من سيليس غرواني، ثم من الأوبال، وقد تبلورت فيما بعد على شاكلة كالسيدوان. ونضيف إلى ما تقدم أن سيليس المستجد التشكل قد يوجد في كثير من الصخور الرسوبية بحالة بلورات مجهرية ثنائية الهرم منعزلة، التي يمكن كشفها في فضالات تفاعلها بحمض.

غلوكوني: إنه فلز أخضر، هيدروسيليكات الحديد ألوميني وبوتاسي (وهذا مايميِّزه عن الكلوريت)، شائع كثيراً في الصخور الرسوبية البحرية حيث يعتبر راسباً مميزاً.

---

(١) ويميز حسب شكل واتجاه تطاول الليف، ثلاثة نماذج من الكالسيدوان: الكالسيدوان، الكوارتزين، واللوتيسيت.

يوجد فيها إما بحالة صباغية، أو بشكل حبات صغيرة ثديية، بسيطة أو مفصصة (شكل ٣٤، b)، (قد يبلغ قطرها أحياناً ميللمتراً واحداً)، أو عن طريق التغليف أو قوالب المتعضيات (منخربات، شويكات الاسفنج... الخ) (شكل ٣٤، b̆) ذوات اللون الأخضر الحشيشي، وفي جميع الأحوال فإن هذه الأجسام مؤلفة دائماً من تراكم بلورات صفيحية مجهرية.



شكل ٣٤ ــ **فلزات الصخور الرسوبية** (تتمة). a، تشجرّات dendrites داخل صخر كلسي (تسرُّبات من MnO). b، غلوكوني بشكل حبات مفصصة لحوار غلوكوني (× ٢٠). b̆، غلوكوني يملئ قوقعة غلوبيجرين (× ٢٥). c، فوسفات كلس حبيبي للفوسفات التونسي (× ٤٥). d، أوبال كروي للغضار ذي صوان (× ١٠٠).

ونعلم أنه، من بين الرسوبات الجيولوجية للصخور الرملية والرمال الغلوكونية «greensands» «رمال خضراء»، التي تعود للطابقين الألبياني والسينوماني. توجد صخور كلسية غلوكونية (كريتاسي أدنى لما تحت الألب) إلخ. ويمكن لحبات الغلوكوني هذه أن تتأكسد أحياناً وتتحول إلى حبات حمراء ليمونيتية. وغالباً مانرى الغلوكوني مجتمعاً مع فوسفات الكلس، وبخاصة في المستويات المستحاثية المسماة «خرسانة فوسفاتية» والتي تعود للكريتاسي الأوسط لما تحت الألب subalpin. وأخيراً فإنه يمكن للغلوكوني أن يكسو أحياناً، بل أن يسمنت (يلحم) حصباء بعض الصخور الرصيصية للطغيانات البحرية (مثلاً: صخور رصيصية ذات طلاء أخضر تعود لميوسين حوض الرون).

والغلوكوني هو فلز مميز بشكل عام، لتوضعات بحرية حالية قارية المنشأ، وبشكل خاص لأوحال خضراء ورمال خضراء. إنه يتشكل في النطاقات النيريتية (القوقعية)، وعلى عمق بين ٢٠٠ و ٢٠٠٠م.

تمكن العالمان مورّي وريناد Murray et Renard من متابعة تشكل الغلوكوني اعتباراً من قوالب من الأوحال، التي تملئ في بحار المنطقة المعتدلة قواقع المنخربات. هذه القوالب، التي هي، بادئ ذي بدء، غضارية محضة (سيليكات الألومين) ورمادية اللون، تصبح تدريجياً سمراوية اللون من جراء حلول فوق أوكسيد الحديد محل الغضار. وفي مرحلة لاحقة، فإن البوتاس، الذي كان غائباً حتى الآن، يظهر وبنتيجة ظهوره فإن القالب الحديدي يتحول تدريجياً إلى سيليكات حديدية ــ بوتاسية مائية؛ أي إلى غلوكوني ونحن لا نعلم بعد بدقة تتمة التفاعلات، التي تجيز للبوتاس أن يتحد بسيليكات الحديد، حتى ولا الجسم الذي يؤخذ منه هذا البوتاس. ويمكننا أن نفكر بالاستناد إلى دراسات حديثة [1]، بفلزات فيلليتية (ورقية) وبخاصة شذرات الميكا الدقيقة والتي تكون غزيرة للغاية في بعض رسوبات حالية وجيولوجية.

أما ما يتعلق بالغياب المنهجي للغلوكوني في البحيرات، حيث توجد مع هذا، جميع العناصر المركبة لهذا الفلز، فإننا نستخلص من بحوث جوليان، أن هذا الغياب ناجم عن فعل الحموض العضوية (دبالية وكرينية)، التي لها قدرة على استذواب السيليكات من هذا النمط؛ أي جعل سيليكات هذا النمط قابلة للذوبان.

يختلط الغلوكوني غالباً، في البحار الحالية، مع تخثرات فوسفاتية. وهذا ما يجعلنا نحاول إقامة علاقة منشئية بين هاتين التشكيلتين. وبالواقع فإنه لا توجد أية علاقة وأن تشكيلة الغلوكوني مستقلة عن تشكيلة فوسفات الكلس.

كلوريتات فلزات الحديد: إنها فلزات خاصة نشأت في بعض شرائط الترسيب. وهي ذات لون أخضر أيضاً. وهي سيليكات ألومينية للحديد والمغنيزيا،

---

(١) أ. واين غالليهر E.Wayne Galliher، نشرة الجمعية الجيولوجية في أمريكا، عدد ٤٦، ١٩٣٥، ص١٣٥١.

ومائية تقريباً، توجد بحالة بيوض؛ أي أنها مؤلفة من حراشف صغيرة متراكبة، كما هو الحال في لب البصلة. ويطلق عليها أسماء شاموزيت، بافاليت، برتييريت. حسب مظاهرها.

وإذا كانت مشتركة مع ملاط liant، مؤلف هو نفسه من كلوريت، كربونات الحديد، كلس وفوسفات الكلس، فإنها تشكل الصخور المعروفة باسم «ركازات الحديد الرسوبية» وغالباً ما تتحول هذه الكلوريتات إلى هيماتيت.

هذه الركازات، التي تبدو بشكل تراكمات جسيمة أحياناً، معروفة في الرسوبات منذ الحقب الأول (مثلاً: سيلوري النورماندي، مكمن دييليت). وأشهرها ركازات اللورين وتعود للياس؛ ومنها ما هو جوراسي (كوللوفيان ــ أوكسفورديان) وكريتاسي (نيوكوميان). ولا يزال منشؤها موضع نقاش. فيرى البعض، أن البيوض، كانت في البداية كلسية، ثم تغلّفت ثانوياً بأملاح الحديد (ل. كايّو). وبالنسبة لآخرين (ج دي لابّاران) فإنها منذ الأصل تخثرت بحالة بيوض من الكلوريت أو من السيديروز.

أملاح الصودا والبوتاس: من المناسب أخيراً أن نذكر هنا، كفلزات للصخور الرسوبية، وجميع أملاح الصودا (كلورورات، مثلاً: ملح صخري). أو أملاح البوتاس والمغنيزيا (كيزريت): SO^4MgH^2O؛ بوليهاليت: $(SO^4)^4 Ca^2MgK^2 2H^2O$؛ سيلفين: KCl؛ كارنالّيت: $KClMgCl^26H^2O$. غير أننا، سنتكلم عنها بخاصة فيما بعد، بمناسبة الصخور ذات المنشأ البحيري «اللاغوني»، إذ أنها هي أيضاً، توجد غالباً بشكل أكداس جسيمة متطبقة بينيّاً؛ أي بشكل متناوب في الرسوبات حيث يصار إلى استثمارها، وبإمكاننا إذاً اعتبارها كصخور حقيقية.

فوسفات الكلس: هو فلز منتشر كثيراً في الصخور. لقد رأينا أن الاباتيت، فليوفوسفات الكلس المبلور، كان فلزاً عرضياً للصخور البلورية وللشوائب وفي الصخور الرسوبية حيث أمكن التعرف على العديد من أنواع فوسفات الكلس، التي استطاعت أن تحدد تشكل مكامن قابلة للاستغلال. ومن بين أنماط فوسفات الكلس ثلاثية الأساس في الصخور نذكر أكثرها شيوعاً وهي الأنواع الحبيبية

(شكل ٣٤ ، c)، التي تكثر في الكريتاسي الأعلى (مثلاً : Somme في فرنسا) والإيوسين الأدنى (مثلاً : افريقيا الشمالية) : الكولوفانيت، بشكل حبات غير مبلورة، صفراء أو سمراء. وهو نوع فليوري مع كربونات الكلس ومياه تركيبية : الستافيّليت، وهو نوع ليفي، صاف ومبلور (صليب أسود) يحيط أحياناً بحبات الكلولوفانيت. ونضيف إلى أن الفوسفات يوجد في الصخور الرسوبية على شاكلة أنقاض عظمية بالية، أو عقيْدات (مقاييس كبيرة أحياناً)، في الكريتاسي الأدنى والمتوسط، « كوبروليت Coprolithes » (بِراز الفقاريات المستحاثة) وأخيراً على شاكلة « فوسفوريت » (كيرسي).

وتكون هذه الأخيرة مخثرة وذات تراكيب معقدة، لكونها مؤلفة من تجمع كولوفانيت غير مبلور، ستافيليت وداهليت (نوع من الستافيليت بدون فليؤور).

وتكون فوسفات الكلس الثلاثي قابلة للانحلال في المياه المشحونة بحمض الكربون، على أنها تكون ضعيفة من حيث ثنائية كربوناتها الكلسية. وهذا ما يفسر بعض توضعات رسوبية ناجمة عن مياه غسلت صخوراً بلّورية غنية بالاباتيت أو بالكلس الفوسفاتي (فوسفوريت كيرسي). غير أن المكامن الفوسفاتية هي على الأغلب، من منشأ كيميائي حيوي وناجمة، كما سنرى عند دراستنا الصخور الفوسفاتية، عن تدخل متعضيات (بكتريات) وفقاريات عديدة (أسماك، زواحف ... إلخ)، التي نجد البقايا المستحاثة منها ثانية، (أنقاض أسماك بالية، أسنان، بِراز ... إلخ) في هذه الصخور.

الفصل الثاني

الصخور الإندفاعية والمهل

١ ــ عموميات

إن الصخور الإندفاعية والتي لا تزال تدعى أيضاً النارية أو داخلية المنشأ، لكونها مرتبطة بالعمق، ودخيلة، لأنها تتميَّز بفجائية ظهورها، واندفاعيتها، مما يوحي بأنها جاءت من مكان ما، وتستقر فيه. ونظراً لكونها مؤلفة من فلزات وزجاج، فإنها تكون مبلورة أو زجاجية، أو الاثنين معاً، وهذا التركيب، وبخاصة وجود الزجاج، يدلّ على أنها كانت في بُرهة ما من تاريخها، مهلاً مصهورة وذات حرارة مرتفعة. وهذه المهل تماسكت، إما في عمق القشرة الأرضية، وهذه حالة الغرانيت مثلاً، أو على سطح الأرض مثلها مثل اللابات، التي تلفظها البراكين. وفي الحالة الأخيرة فإن الصخور الناتجة تدعى بركانية.

ولهذا كانت أوضاع مكامن هذه الصخور الإندفاعية دائماً فريدة في حدِّ ذاتها. فيمكن أن توجد على شاكلة كتل عميقة محشورة في سماكة القشرة الأرضية نفسها، وتكشفت بحركات الأرض والحت، أو على العكس توجد على هيئة كيان طفيلي مضاف على المناطق الأكثر سطحية من هذه القشرة (جبال بركانية حالية).

وبعدها، فإن تماس هذه الصخور مع الصخور المحيطة بها هو تماس غير منتظم غالباً وغير مطابق لجيولوجية المكان، الذي تتكشف فيه. ومن جهة ثانية، فإن منشأها، لا يزال موضع جدل، وظلت هناك ولزمن طويل، يعود حتى لنهاية القرن الثامن عشر، مدرسة كاملة، هي مدرسة العالِم الألماني فيرنر Werner (مدرسة يقال لها نبتونية)، ترى في هذه الصخور نتاج تبلور في المياه العائدة «للمحيط البدائي»، وهذا بخلاف هوتون Hutton الإيقوسي المتبوع بـ دولوميو Dolomieu، الذي كانت نظرته صحيحة عندما نسب لها منشأً نارياً عميقاً (مدرسة بلوتونية).

علينا إذاً أن نتفحص على التتالي، قبل أن نقوم بالدراسة النظامية لهذه الصخور، التركيب الكيميائي للمهل الأولي، الطريقة التي تصلب بها هذا المهل، التركيب المينيرالوجي الحاصل، الشرائط المكمنية، التي ظهرت لنا فيها في الفراغ، وأخيراً تنسيق عناصرها التركيبية (النسيج).

I ـــ التركيب الكيميائي لأنواع المهل الأصلية

إن أشكال المهل التي ستتحول عبر التحولات والتغيّرات المختلفة، التي تتعرض لها في غضون صعودها داخل القشرة الأرضية، إلى صخور اندفاعية، يمكن أن نعرّفها بأنها خليط غير متجانس من مواد فلزّية (سيليكات) تكون درجة انصهارها أعلى من ١٠٠٠°، ومن مواد طيارة تقل درجتها الحرجة عن ٥٠٠°. وتكون السيليكات في هذا المهل السيليكاتي، بجميع النسب، وكذلك الأمر فيما يتعلق بأكاسيد عديدة (سبينلّات، كروميت، إيلمينيت ... إلخ)، كباريت ومعادن.

ويمكن التعبير عن الصفات المينيرالوجية والكيميائية لمهل بمختلف الثابتات (بارامترات) مهلية وضعت إما بناءً على التحليل الكيميائي، أو بناء على التحليل المحسوب (أو norm لدى المؤلفين الأمريكان).

ويثبت التحليل الكيميائي الإجمالي وجود العناصر التالية:

SiO^2, Al^2O^3, Fe^2O^3, FeO, MgO, CaO, Na^2O, K^2O, TiO^2, P^2O^5، التي هي كما رأينا عناصر تركيبية رئيسة لجميع صخور القشرة الأرضية. فإذا قسمنا بعدئذ النسب المئوية لكل من هذه العناصر بالأوزان الذرية، فإننا نحصل على عدد الذرات. وبعد إجراء هذه القسمة، يعملون على جمع هذه العناصر الذرية المختلفة إلى ذرات لإعادة تركيب الفلزات ـــ المعيارية (**أو النموذجية Standards**) التالية والمنتقاة **بادئ ذي بدء** كالأكثر أهمية: مرو (كوارتز) SiO^2، هيماتيت F^2O^3، كورندون Al^2O^3 أورتوز $Al^2O^3K^2O\ 6SiO^2$، البيت $Al^2O^3Na^2O\ 6SiO^2$، آنورتيت $Al^2O^3CaO2SiO^2$، نيفيلين $Al^2O^3Na^2O\ 2SiO^2$، لوسيت $Al^2O^3K^2O\ 4SiO^2$، أوليفين $SiO^2\ 2MgO$, $SiO^2\ 2FeO$، بيروكسين $SiO^2MgO\ SiO^2FeO\ CaO$، إيلمينيت TiO^2FeO، ماغنيتيت Fe^2O^3FeO، اباتيت $3CaO\ P^2O^5$، وبذلك نحصل على التحليل المينيرالوجي، الذي يدعى بالمحسوب، أو الإفتراضي، الذي بوساطته يمكن التعبير عن تركيب جميع الصخور حسب هذا السلّم المنسجم.

إن الثابتات أو البارامترات المستعملة من قبل المؤلفين الأمريكان ومن قبل آ. لاكروا في تصنيف الصخور هي نسب الفلزات البيضاء للفلزات السوداء ($\frac{Sal}{Fem}$ أو $\frac{SiAl}{FeMg}$ = صفوف)، ومرو أو أشباه الصفاح إلى الصفاح ($\frac{Q}{F}$ و $\frac{F}{F}$ = رُتَب)، والقلويات الموجودة في الصفاح على الكلس الصفاحي ($\frac{K^2O + Na^2O}{CaO}$ = ترتيب)، وبوتاس على الصودا ($\frac{K^2O}{Na^2O}$ = ما تحت الترتيب) ويستعمل علماء الصخور السويسريون، تبعاً لـ ب. نيغلي P.Niggli بارامترات تختلف قليلاً عن تلك[1].

---

(١) P.Niggli, Zur Mineralogischen Klassification der Eruptivgesteine (Schweiz, Min, Pet, Mitteilungen, XV, 1935 P. 295)

هذا ويمكن التعبير عن هذه الصفات الكيماوية خطياً بوساطة خطوط بيانية تعود للعلماء ميشيل ـــ ليفي، وأوزان أو للعالم نيغلي.

ومـــن جهـــة أُخـــرى، فإن وجـــود ماء مع مختلــف المواد الطيـــارة (Bo, Cl, Fl, CO^2 ... إلخ) ، في المهل أصبح أمراً مفروغاً منه الآن[1] .

غير أن هذه الأجسام، تلعب دوراً كبيراً، بخاصة بخار الماء، في تشكيل بعض الفلزات (ومن هنا جاءت تسميتها بـ **ممعدنة أو مفلزة minéralisateurs**) وفي غضون التمايز وحقن المهل، التي تمنحه لزوجة أكبر، مخفضة بالوقت نفسه، لدرجة كبيرة، نقطة انصهار السيليكات المذابة (غورانسون Goranson) . ويحتمل أن تعمل أجسام كهذه، وذلك بدرجات الحرارة والضغوط العالية، على عدم التوازن الذي تحدثه في الشبكات البلورية. لقد برهنت دراسة البراكين الناشطة وانبثاقاتها الغازية (**مداخن اليحموم**)، أنه يمكن لغازات أن تتسرب في معظمها من المهل بالتقطير أثناء التبرُّد. وبعد أن تختلط هذه الغازات بيحموم معقد، مما يؤدي إلى تنقيته تدريجياً تبعاً لتباطؤ النشاط البركاني؛ فأوائل الانبثاقات، التي تتوقف، هي انبثاقات الكلورورات القلوية؛ ثم انطلاقات كلور الأمونيوم، حمض الكلور، ثم انطلاقات غاز الكبريتي، فكبريت الهيدروجين (توضع الكبريت)، وأخيراً فإن اليحموم لم يعد يحتـوي إلا على غاز الكربون، حمض البور وبخار الماء. فينجم عن ذلك، أن يصبح تركيب المهل، بعد ذهاب كل هذه الأجسام، مختلفاً كثيراً عما كان عليه من قبل. ومع هذا، فإن آثاراً من هذه الأجسام تبقى فيه غالباً على شاكلة دخيلات في الفلزات المتشكلة، وتكون عندها هذه الدخيلات عبارة عن محاليل مائية من كلورورات وكباريت قلوية أو من حمض الكربون. غير أنه يمكن للماء أن يبقى بقسم كبير منه في المهل عندما يتصلب هذا الأخير على شاكلة زجاج، ويمكن لبعض البشستاين بالواقع أن يحتوي حتى على ١٠٪ من الماء. حتى أن قابلية انحلال الماء في الزجاج قد درست عن طريق التجارب.

---

(١) إن حالة وجود الماء على الأخص كان مدار مناقشات طويلة، كان بران Brun قد ادَّعى بأن الماء لم يلعب أي دور كجزء متمم للمهل. إن هذا الاعتقاد المبالغ فيه قد دُحِض بأعمال Saint-Claire Deville ، Lacroix, Fouqué .

وهكذا فإن غورانسون تمكن من تتبع هذه القابلية للذوبان بين ٥٠٠ و ١٣٠٠°، وتحت ضغط يتراوح من ٠ إلى ١٥٠٠ بار[1] بالنسبة لزجاج غرانيتي.

وعندما يبرد المهل في الأعماق، تحت ضغط، فإن الغازات تتركز، بقدر ما يتقدم التبـرُّد، في النطاقات، التي بقيت مائعة، وغالباً في الجزء الأعلى من المكمن. ويمكن لجزءٍ ما أن يطرد من موقعة بتأثير ضغط، والجزء الآخر يبقى أحياناً، في موضعه، على شاكلة ماء على الأخص، ويمكن عندها أن يتدخل (حادث التغير الغازي Pneumatolyse) في تشكل مهل بغماتيتي وعروق من المرو وعروق معدنية، وأخيراً في تشكل بعض ينابيع حارة غنية بالسيليس الغرواني (جيزر) أو بغاز الكربون. غير أنه يبقى دائماً جزء منه حبيساً في المهل، الذي تصلب. وهكذا فإن كيلو غراماً من الغرانيت يمكن أن يحتوي على ١٠ غ من الماء.

ينجم عن تحليل أعداد لا تحصى من الصخور الإندفاعية أن السيليس، في نهاية المطاف، هو الذي يلعب دور المكـوِّن الرئيسي في المهل، إما حـرّاً (مرو)، أو متحداً بحالة سيليكات.

ولهذا فقد مـيَّـزوا من هذه الناحية ثلاث زمر كبيرة من الصخور: الصخور **الحمضية acides**، التي تحتوي دائماً على أكثر من ٦٥٪ من السيليس، الصخور **الأساسية basiques**. وتتراوح فيها نسبة السيليس بين ٤٠ إلى ٥٢٪، وبين هذين الحـدّين تأتي الصخور **الحيادية neutres** مع ٥٢ إلى ٦٠٪ من السيليس. وتترافق دائماً زيادة كمية السيليس مع سيطرة عناصر بيضاء على العناصر الملوَّنة والثقيلة الغنية بالحديد والمغنيزيا. وعليه تكون الصخور الحمضية فاتحة اللون وخفيفة (صخور **بيضاء Leucocrate**)، بينما أن الصخور الأساسية، وهي غنية بعناصر سوداء، تكون على العكس، ثقيلة وقاتمة (صخور **سوداء Mélanocrates**)، وتكون الصخور الحيادية (**أو وسطية اللون Mésocrates**)، بسبب تعادل العناصر البيضاء والسوداء ذات لون

---

(١) البار هو ضغط معادل لِـ ٧٤٩ر٧٨م. لقد تمكن غورانسون من التثبت على سبيل المثال، من أن مهلاً غرانيتياً بدرجة حرارة ٧٢٠° وتحت ضغط ١٠٠٠ بار يكون منصهراً ويحتوي على ٢٥ر٦٪ من الماء.

وسيط . فإذا كانت الصخور الأولى تحتوي دائماً على سيليس حـرّ غنية بالقلي (صودا أو بوتاس)، فإن الثانية تكون خالية منها على الإطلاق وتكون أيضاً فقيرة بالقلي . غير أنه لوحظ أن الصخور عندما تحتوي على قلي وعناصر حديدية ، ومغنيزية ، فإن البوتاس يسير جنباً إلى جنب مع المغنيزيا ، بينما تترافق الصودا بالأحرى مع الحديد .

إن التحاليل المحسوبة للصخور والمقدمة على شاكلة رسم بياني (دياغرام نيغلي Niggli) تساعد على إيضاح روابط القربى القائمة بين الصخور المنحدرة من مركز إندفاعي كبير : فنصل بهذه الطريقة إلى تمييز ما دعوه باسم **أقاليم بتروغرافيـة Provinces pétrographiques**، على اعتبار أن كل إقليم معـرَّف بسحنـة كيميائيـة محددة (زيادة السيليس أو البوتاس على الصودا) أو وجود فلزات خاصة (فلزات جزئية القلوية) . وهكذا تكون جميع الصخور ، في منطقة كريستيانيا [*]، غنية بالصودا وهذا الغنى حاصل بالرغم من تنوع النسيج ، ونسبة السيليس فيها (إقليم أو مهل أطلنطي حسب هولمس Holmes)؛ وفي منطقة فيروف ، فإن البوتـاس ، على العـكس ، هو المسيطر (إقليم متوسطي[1] حسب نيغلي)، وأخيراً فإن هولمس ، يميِّـز أيضاً إقليماً باسفيكياً مميزاً بسحنة المهل الكلسية القلوية .

ويمكن متابعة هذا المفهوم للإقليم ، حتى في مناطق ذات مساحات ضعيفة لدرجة أنهم تمكنوا من تطبيقه على عصر جيولوجي محـدَّد . وهو ذو فائدة كبرى ، لأنه يفرض تجزئة لنطاقات عميقة بحالة انصهار سواء في المكان أو في الزمان[2] .

(*) وهو اسم عاصمة النروج أوسلو حتى عام ١٩٢٤ .

(١) نسبة للبحر المتوسط أو الرومي نسبة إلى بحر الروم وهو الاسم العربي للبحر المذكور .

(٢) غير أننا لا نتمكن من القول فيما إذا كانت هذه الخزّانات الواسعة العميقة كانت تؤلف في السابق جزءاً من الكرة النارية **pyrosphère** التي نوهنا بها أعلاه . هذا ولا يمكن تمييز هذه الأقاليم من جهة أخرى وتحديدها بدقة وتوجد شواذات عديدة لقاعدة التوزع التي أشرنا إليها . حتى أن بعضها يكون موضع نزاع . وهكذا فإنهم يقرّون الآن ألّا لابات فيزوف قد اغتنت بالبوتاس (لوسيت) على حساب الكلس الترياسي الدولوميتي الذي اخترقته المداخن البركانية في الأعماق ،

II ـــ تصلب المهل وتمايزه

لا نزال نجهل الأسباب الحقيقية، التي تثير صعود المهل، مصدر الصخور الإندفاعية. لقد وردت على التوالي نظرية التوازنية ونشوء الجبال. ومن المحتمل أن يعمل هذان العاملان منفردين أو سوية. لقد دُفِع مؤخراً بنظرية نشوء الجبال إلى الأمام بفضل م. لوجون، الذي يفترض أنه في برهة تشكل السلاسل الجبلية، تكون الضغوط التكتونية شديدة لدرجة تتمكن معها من صهر كلي لقطع من القشرة الأرضية، سبق أن تصلبت. فهذه الكتل المنصهرة تتبع، على هذا النحو، صعود النطاق الذي لحقه الطيّ حيث تنضح على طوله. ففي هذه الفرضية، تكون فكرة صعود المهل من المناطق العميقة المنصهرة قد استبعدت كلياً. ولقد أمكن التثبت من أنه في غضون الأدوار الأوروجينية (نشوء الجبال)، كان مجيء الصخور الإندفاعية، التي ترافق هذه الأدوار دائماً تقريباً حسب الترتيب التالي: صخور أساسية في الدور السابق لنشأة الجبال؛ سيالية في غضون مرحلة الالتواء، أساسية ووسيطة حوالي نهاية تشكل مرافقة للسابقات. وتجد حادثات التمايز هذه حالياً تفسيراً لها، بأسباب عميقة (قشرية أو تحت قشرية) جيوفيزيائية.

ومهما يكن من أمر فإن ما يبقى مؤكداً، أن هذه الكتل المنصهرة الصاعدة، وهي مغاطس حقيقية من سيليكات مائعة مشبعة بأبخرة ممعدنة (بور، فليؤر، كلور)، جاءت لتستقر في القشرة الأرضية ولتشغل فيها مكاناً جسيماً. إنها تخترقها، إما عن طريق الشقوق، أو أنها تأخذ مكان الصخور الموجودة سابقاً فتحل محلها، كما لو جاءت عن طريق أبجنة «تغليف» حقيقية. أو بنوع من «هدم مهلي» **magmatic stopping** (مما يعطي بريشات حقيقية من كتل رسوبية يجمعها ملاط غرانيتي) عنيف. تلك هي إذاً **الباتوليتات** أو الكتل الدخيلة المرتبطة بالأعماق إلى أبعد حد؛ سواءً عن طريق ثقب أو فصل الطبقات وحيث تنساب فيها مُتوافقة مع تطبق الصخور

الموجودة من قبل، كي تشكل عدسات بَطينة تدعى **لاكّوليتات**[1]. إن نهوض المهل قد توقف في كثير من الحالات في مرحلة اللاكّوليت، الذي يعتبر أحياناً بمثابة بركان مجهِض. على أن صعود المهل قد يتابع تقدمه صُعُداً عادة اعتباراً من هذه اللاكّوليتات، التي أصبحت خزانات بركانية، وتندفق عندها الكتل المصهورة، بفضل تشققات القشرة (جدّات Dyhes) على شاكلة لابات على سطح الأرض.

وهكذا تكون الشرائط الفيزيائية ــ الكيميائية لهذه المهل الصاعدة، هي إذاً باستمرار متنوعة (اختلافات فوارق الضغوط، انطلاق الأجسام الطيّارة، تبرد تدريجي... إلخ). ولكن مايهمنا نحن، هو كون التبرُّد يكون سريعاً تقريباً حسب عمق التوطيد، الذي يبدأ التصلب اعتباراً منه.

ولنأخذ، لتثبيت الأفكار، مهلاً يبرد ببطء في موضعه وعلى عمق ٢٠٠٠م تحت ضغط ٥٠٠ وحدة جوية[2]، ومن المؤكد أن هذا التصلب المتدرِّج يمرّ بالمراحل الثلاث التالية (شكل ٣٥) (نيغلي):

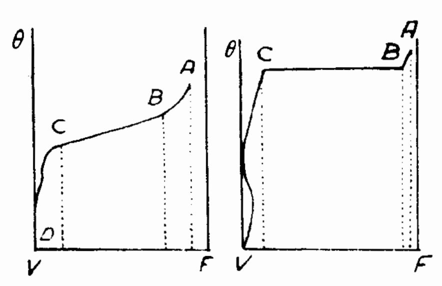
١ً ــ مرحلة يقال عنها **مهلية مستقيمة (orthomagmatique)** (بين ٨٠٠° و ٥٠٠°)، تتفرَّد أثناءها الأجسام القابلة للانصهار (السيليكات) بالتبلور، وهذه المرحلة تؤدي إلى تشكل صخور إندفاعية عن طريق تمايز المهل.

٢ً ــ مرحلة **بغماتيتية ــ غازية Pegmatito-Pneumatolitique** (نحو ٥٠٠°)، يحدث أثناءها تركيز للأجسام الطيارة وزيادة ضغط كبيرة. هذا الضغط يكون أحياناً قادراً على التسبب في انقطاع سقف الباتوليت وثوران حقيقي مع صبّات علوية وقيام عروق من البغماتيت.

---

(١) إن احتلال اللاكوليتات مكانها قد يترافق حتى بنهضات سطحية. وهكذا فإنهم يعتبرون أن تشكل تل ارتفاعه ١٥٥م، بين تموز إلى تشرين الثاني لعام ١٩١٠ في أسفل بركان أوزوسان (جزيرة ييزو، اليابان)، كأنه ناجم عن حقن لاكّوليت.

(٢) الموضوع يتعلق هنا بحالة وسطية. إنهم يقرّون بالواقع الآن أن المواد المهلية الغرانيتية لم تبرد حتماً تحت عمق كبير من الأراضي وان اندساسها تم حتماً بحرارة تقرب من ١٠٠٠° وبدأت تتصلب في موقعها بين ٨٠٠ و ٥٠٠ درجة.



شكل ٣٥ ــ **مخططات تبرُّد مهل عميق** (ضغط مرتفع) إلى اليسار، للابة سطحية (ضغط منخفض) إلى اليمين. على محور العينات الحرارة؛ على محور السينات، نسب العناصر الطيارة بالمهل (V) وبعناصر ثابتة (F) (١٠٠ بالمئة من F وصفر بالمئة من V في النقطة F، وبالمقابل في النقطة V) BC = طور غازي؛ CD = طور حراري مائي (ب. نيغلي).

٣ً ــ أخيراً وبما أن المواد المائعة تلاشت أو أنها تصلَّبت، فإنه يحصل انخفاض في الضغط، يكون متفاوتاً في سرعته حسب الأحوال، وهذه هي المرحلة **الهيدروترمالية (المائية الحرارية)**، التي تلعب دورها الهام في ملء عروق حاملة للمعادن وفي نشوء بعض عيون المياه الحارة.

أما إذا كان الأمر على العكس، وتابع المهل صعوده، فإنه يصل حتماً إلى النطاقات، التي يكون فيها الضغط أقل من ضغط الأبخرة المشبعة، وعندئذ ينفصل الطور الطيّار عن الطور المنصهر على شاكلة أبخرة أو بالحالة المائعة، وكما بيَّن نيغلي، تحصل تقطيرات مجزأة. هذه الأمور مفسرة بالمنحنيات (شكل ٣٥) العائدة لنيغلي.

ويكون صعود مهل ما ميَّسراً دائماً بميوعة الكتلة النارية، التي تكون كبيرة تقريباً وبقوة مرونة الغازات المرافقة، وبخاصة بخار الماء. وانطلاقاً من وجهة النظر هذه، فإن مهلاً أساسياً، هو أكثر ميوعة من مهل سيليسي. (فالبازلت هو أكثر ميوعة من الداسيت مثلاً)، ومزوَّد بقدرة انتشار أضعف[١]، وتزداد لزوجة مهل ما بوجود الصودا، الكلس أو الألومين، وبالمواد الطيارة، التي تحتفظ بالميوعة حتى بدرجات حرارة منخفضة.

(١) وذلك، ولو كانت حرارة انصهار المهل الأول؛ أي البازلت هي أعلى من حرارة انصهار الثاني؛ أي الداسيت، وهكذا فإن نقطة انصهار بازلت هي أعلى ب ٢٠٠° من نقطة انصهار غرانيت.

ويكون تصلب المهل ذاته حادثاً مُـعقداً للغاية، إذ أن تركيب المهل، في أثناء التبـرُّد، يتعدل تدريجياً بقدر ما تتفـرَّد البلورات، فيحصل معنا أن السائل الجديد هذا يعـدِّل تركيب البلورات الأولية المتشكلة وحتى أنه يجعلها تتلاشى. وتكون الظاهرات الكيميائية، التي تحدث اعتباراً من مراكز التبلور سريعة تقريباً وتتبدل مع سرعة التبـرُّد، والاحتكاك، واللزوجة، وتكون البلورات أغلظ حجماً بقدر ما يكون التبريد بطيئاً. ومن جهة ثانية، فإن ترتيب تبلور الفلزات لا يكون دائماً هو ترتيب قابلية انصهارها. وأن مثال المرو الغرانيتي البسيط، آخر الفلزات المشكلة في هذا الصخر، هو مثال لإثبات ذلك. وليس صحيحاً دائماً كذلك أن يكون هذا الترتيب مبنيّـاً على نسبة السيليس في الفلزات، فأفقرها بالسيليس تتصلب قبل الأغنى به، وهكذا نرى أن أوجيت الديابازات الأوفيتية (فلز فقير بالسيليس) يملئ الفراغات بين عصيات البلاجيوكلاز (فلزات أغنى بالسيليس). ولقد جرت محاولة تفسير جميع الشذوذات بقوانين الكيمياء الفيزيائية المستخلصة من دراسة محاليل وصهيرات تجريبية (خلائط أوتكتية Eutectiques).

وبصورة مجملة، يبدو أن الترتيب التالي أصبح مقرراً: تتشكل بادئ ذي بدء عناصر الصخور الأساسية، أوليفين، بيروكسين، أنورتيت، ثم عناصر الصخور الحمضية (أمفيبول، ميكا، بلاجيوكلاز صودي، أورتوز، مرو)، التي لا تتشكل إلا في نهاية المطاف.

وفضلاً عن ذلك، فإن ملاحظة كتل من الصخور الإندفاعية، تبدي لنا غالباً بوضوح وجود اختلافات كيميائية وميترالوجية بين أقسام المهل نفسه، مما أدَّى إلى تفـرُّد صخور تكون أحياناً مختلفة جداً عن بعضها. هذا هو واقع مألوف يطلقون عليه نقطة **تمايز أو تفاضل المهل** **Différenciation des magmas**، ولكـن لم ينـل بعـد تفسيرات بالقدر الكافي.

ويمكن لهذا التمايز، أن يبدأ منذ قبل التبلور في حالة سوائل غير مزوجة (غير قابلة للامتزاج) بإمكانها أن تنفصل إلى سافات متميِّـزة في المغطس. إن ذلك يصبح ممكناً عند الاقتضاء بالنسبة للكباريت، طالما أن هذا الأمر معلوم تماماً عند علماء

التعدين؛ غير أن القاعدة ليست دقيقة وأنه يمكن لبعض الكباريت أن تتصلب مع السيليكات بآن واحد.

ومن الأكثر احتمالاً أن التمايز ينبغي أن يكون قد تـمَّ أثناء عمليات التبلور المجزأة، التي تمـيِّـز تصلب المهل، أو أنه تـمَّ بالتمييع Liquation؛ أي الفصل حسب ترتيب كثافة مغطسين سائلين تحت درجة حرارة ما، بينما في حال تكون درجة الحرارة أعلى؛ فإن بإمكان هذين المغطسين الاختلاط دونما صعوبة. ولقد رأينا أن بوسع التبلور من نمط الأوتكتيكي؛ أي متواقت، أن يفسر بعض شذوذات من نظام تبلور الفلزات. غير أن الشائع، هو أن الفلزات قد تشكلت من أجيال متعاقبة لحقت بها تعديلات ولم تكن لها دائماً صفة البقاء. وفي غضون هذا التتالي من التبلورات قد يحصل تمايز بالثقالة، فالفلزات المشكلة تنتهي بالترسب في الأجزاء السفلى، إذا كانت أثقل من الوسط، شريطة أن يكون هذا الوسط مائعاً بما فيه الكفاية. وعلى هذا يجب أن نفترض أن تصلب الفلزات قد حصل على الأغلب في وسط لزج، إذ أن عناصر معظم الصخور الإندفاعية، بالرغم من اختلاف كبير في كثافتها أحياناً، لها توزع منتظم للغاية [1]. فهذه الفرضية لا يمكن إذاً تعميمها.

ولقد جرى اقتراح تفسيرات أخرى: تدخل تسـرُّب غازي في المغـطس، تركيزات بالبث الذري، تيـارات الحمـلان، تحولات في الحرارة (تبرد) والضغـط[2]، وأخيراً تـمَّ اقتراح تمثل الصخور الموجودة من قبل وحتى الضغوط الأوروجينية، لتفسير بعض حالات خاصة من تمايز المهل.

لقد افترضنا حتى الآن أن هذه التمايزات كانت تحصل انطلاقاً من مهل مائع

---

(١) ربما أمكن أن نفسر على هذا النحو بعض الحواف الأساسية في الكتل الاندفاعية.

(٢) لقد دلّت تجارب أ. ميشيل ليفي الحديثة على أن جميع فلزات الغرانيت، وذلك تحت حرارات منخفضة تقرب من ٥٠٠°، ولكن تحت ضغوط عالية (٣٠٠٠ ــ ٤٠٠٠ كغم/سم٢) وبوجود بخار الماء والقلي، بإمكانها أن تنشأ بسرعة، مارّة مباشرة من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة (**نشرة الجمعية الجيولوجية الفرنسية ١٩٣٩**). وكانت تجارب أقدم قد توصلت من قبل إلى أن المهل نفسه بوسعه إعطاء فلزات مختلفة جداً عن بعضها عندما يصار إلى تغيّـر شرائط التبريد والانصهار.

تقريباً وفي أثناء تصلب الفلزات. غير أن الفرضية يجب أن ينظر إليها في واقع إمكانية حصول التمايزات بدرجة حرارة يكون فيها المجموع قد تصلب في إثر تحولات حقيقية نحو الحالة الصلبة. وفي هذه الفرضية الجريئة، لا يكون الغرانيت على هذا النحو إلّا نتيجة زمرة من التفاعلات بحالة الصلابة [1].

وهناك قضية أخرى كبرى هي قضية **المهل المبدئي**، الذي تشكلت، انطلاقاً منه، جميع الصخور الإندفاعية. وجدير بنا أن نلاحظ أن الصخور الدخيلة (مثلاً: غرانيت) هي بمعظمها صخور حامضية (٩٥٪) وأن الصخور التدفقية (أو الطفحية أو اللابية) هي بخاصة أساسية (٩٨٪). لقد خلص دالي Daly إلى وجود نوعين رئيسيين من المهل: أحدهما حمضي (سيال؟)، والآخر أساسي (سيما؟). وان اختلاطهما بنسب متغيرة، من شأنه أن يؤدي إلى كل تنوعات الصخور الإندفاعية [2]. وكان هذا رأي ديكروشه منذ عام ١٨٥٧.

وقد قابلت هذه الفرضية الثنائية، فرضية بوون Bowen الأحادية المبنية على غزارة المهل البازلتي المتعرَّف عليه على سطح الكرة وتشابهه، مما يجرنا على الإقرار بصفة المهل البازلتي الأولية.

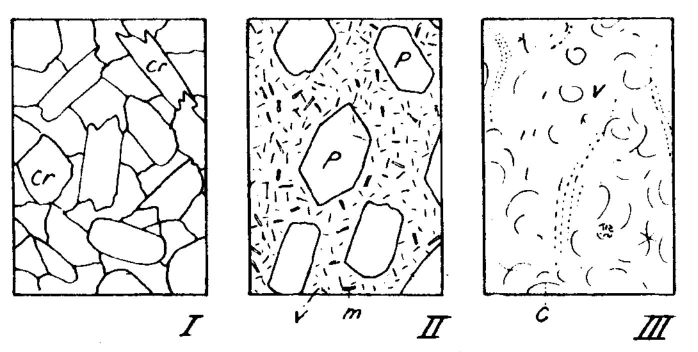
وبالواقع فإن بوون يعتبر أن المهل الأصلي، الذي حصلت، انطلاقاً منه، جميع تمايزات الصخور كان كثير الأساسية، ويرجَّح أن كان له تركيب بازلت، وأنه لم يصل إلى نهايات تزداد حمضيتها أكثر فأكثر إلا بنتيجة تطور لاحق، بتأثير اليحموم القلوي، أو بترسب (ثقالة) عناصر حديدية ـــ مغنيزية متفرِّدة.

ومهما يكن من أمر، فإن هذا المهل يجب أن يشكّل في الأعماق طبقة غير متواصلة تقريباً، مما يمكننا من تفسير الخصائص الكيميائية للأقاليم البتروغرافية.

---

(١) رينيه بيرّان ومارسيل روبو: **ثورة الأفكار العصرية في البتروغرافيا** (المجلة العلمية نيسان ١٩٥١ رقم ٣٣١٠).

(٢) حتى أن هولمس قد اقترح ضرورة وجود مهل ثالث رئيسي وهو المهل البريدوتي. ولنلاحظ أن لنوعي مهلنا المذكورين توزعاً جغرافياً واضحاً: فالصخور الحمضية هي بخاصة قارية، بينما الأساسية هي على العكس محيطية وجزيرية (أي تشكل الجزر).



شكل ٣٦ ـــ بنية الصخور I، صخور كلّية التبلور (cr بلورات مختلفة الشكل). II و III، صخور جزئية التبلور. II، صخور شبه متبلورة: بلورات كاملة الشكل أو بلورات بارزة (P) وميكروليت (بلورات) m، في معجونة عديمة الشكل (V). III، صخور زجاجية: معجونة عديمة الشكل؛ أي لا بلورية (زجاج V) مع خيوط من بذور بلورية c (كريستاLLيت).

ومن ناحية عملية فإن بإمكان الجيولوجي الميداني، أن يحفظ من كل هذا، أن تصلب المهل هو حادث بطيء للغاية وقد تطلّب أزماناً تقدر بعدة آلاف من السنين، ولكنه على صلة مباشرة بالعمق. فمهل عميق، إذا برد ببطء يعطي صخوراً تكون البلورات فيها مرئية بوضوح وموزّعة بانتظام في الكتلة، وهذه الصخور هي التي نقول عنها **كلية التبلور Holocristallines** (شكل ٣٦، I) حيث لا توجد فيها مادة لا بلورية؛ أي عديمة الشكل (مثلاً: غرانيت) وإلى القرب من السطح، فإن تبرُّد مهل يعطينا صخراً لا نميِّز فيه إلّا بلورات غليظة مبعثرة (بلورات ظاهرة) غارقة في عجين مجهري التبلور. فالمهل المحقون قد أعاد معه إذن من الأعماق، البلورات الغليظة، ولكن تصلبه الأكثر سرعة، أدَّى إلى جعل حبة الصخر أكثر نعومة. وأخيراً، فإننا نجد، في المهل البركاني، الذي تدفق على سطح الأرض ذاته على شاكلة لابات، والذي كان التبرُّد قد بلغ فيه إذاً سرعته العظمى، نجد أن المادة اللابلورية قد برزت للعيان (زجاج) وأن بلورات التصلب الأخير قد ظهرت فيه على شاكلة طلائع مجهرية من عصيات معروفة تحت إسم إبر أو **ميكروليتات**. ويقال عن صخور كهذه، أنها إبرية أو ميكروليتية، شبه بلورية أو **جزئية التبلور Hypocristallines** (شكل ٣٦، II). وأننا نجد بين هذه الصخور البركانية ما تسيطر فيه المادة الزجاجية، فنكون أمام زجاج قوارير حقيقي (**صخور زجاجية**) حيث كان فيها التبرد في أقصى السرعة (شكل ٣٦، III).

ولكن علينا دائماً أن نعتبر الصخور الحالية بمثابة بقايا بسيطة من مهل معقد للغاية، حيث كانت توجد فيه عناصر سائلة وطيارة تلاشت في الوقت الحاضر. ولهذا فإن المحاولات التجريبية لتراكيب صخور الأعماق الإندفاعي لم تعط مطلقاً نتائج جديرة بالملاحظة [1]. فإذا صهرنا غرانيتاً (مثلاً: بغماتيت نوتردام دي بريانسون في السافوا، الذي انصهر بدرجة ١٤٠٠°)، فإننا لا نستعيد المهل السائل، الذي نشأ منه، وأن التبريد، الذي يكون دوماً سريعاً للغاية وتحت ضغوط ضعيفة للغاية يعطينا في النهاية زجاجاً.

III ـــ التركيب المينيرالوجي الحاصل

لقد رأينا أن تصلُّب المهل يؤدي إلى تشكل فلزات صلبة، قليلة الانصهار، على العموم سيليكات، وأن تجمع هذه الفلزات المتآخذ يساعدنا على تحديد صخورنا الإندفاعية. لذلك ينبغي علينا أن نوضح هنا تسلسل هذه العناصر. وهناك واقع يسيطر على كل البتروغرافيا، وهذا هو التضاد، الذي يوجد بين **فلزاء بيضاء** (خفيفية أو كوفوليت Coupholites))، و **فلزات سوداء** (ثقيلة باريليت Barylites). ومن بين هذه الزمر من الفلزات، ما يقال عنها جوهرية essentièls، لأنها تستعمل لتعيين النماذج الصخرية، وهي: مرو، صفاح، صفاح حديث أو أشباه الصفاح، ميكا بيضاء. وفيما يخص الفلزات البيضاء، وبريدوت، بيروكسين، وأمفيبول، وميكا سوداء، من بين العناصر السوداء. أما **الفلزات اللواحق accessoires**؛ فهي تلك التي، وإن كانت توجد بشكل ثابت تقريباً في الصخور، لا تفيد في تمييزها (آباتيت، زركون، ركازات مختلفة ... إلخ).

وأخيراً فإننا نميِّز مع آ. لاكروا الفلزات المسماة بـ **عَرَضية**

---

(١) غير أن العالمان فوكيه وميشيل ليفي، على العكس، قد توصلا إلى صنع تركيب البازلت بصهر مركباته في أفران خاصة وبالتبريد البسيط.

Symptomatiques وهي التي تحصل من جـرّاء خاصة كيميائية هامة للمهل الناري أو بفضل شرائط خاصة لتصلب المهل المذكور. وهكذا فإن بعض البيروكسين والأمفيبول لا يتشكل إلّا في المهل الشديد القلوية، وعلى العكس، فإن تشكل السيلليمانيت، آندالوزيت، كورندون، سبنيلات، كورديبريت، مرتبط بالمهل الشديد الألومينية. لا يحصل أشباه الصفاح أو الصفاح الحديث إلا إذا كان هنالك نقص بالسيليس لا يكفي لإشباع كل الألومين، ومن القلي والكلس على شكل صفاح (صخور بها عجـز بالسيلـيس)، ويكـون إنتـاج الأمفيبـولات والبيروكسينـات منظمـاً بالشرط $AL_2O_3 < K_2O + Na_2O + CaO$ حيث يستعمل الصفاح جزءاً فقط من الكلس. وتسمح هذه الوقائع لنا بتفسير بعض التجمعات الودية للفلزات (مثلاً: بلاجيوكلاز، أوجيت، هورنبلاند)، أو الارتباطات المتنافرة (مثلاً: بلاجيوكلاز وبيروكسين أو أمفيبول صودي).

ومن جهة أخرى فإن بعض الفلزات، التي يقال عنها نارية المنشأ لا تتمكن من التبلور إلا بانصهار ناري، إذاً بحرارة مرتفعة وبدون تدخل المعدنات: بيروكسين، بريدوت، صفاح كلسي صودي، ماغنيتيت، نيفيلين... إلخ. وفي حالة الفلزات الأخرى فإن المعدنات تبدو أنها مضرة وحتى كأنها عدوّة، كحال اللوسيت. وأخيراً لدينا زمرة كاملة من الفلزات وتسمى بالمولدة للغازات، تتطلب لتشكلها على العكس تدخل المعدنات، مثل الماء (أمفيبول)، الفليور (بيوتيت)، البور (تورمالين)، الكلور (صوداليت)، ونجدها إذاً إما في الصخور المبلورة في الأعماق تقريباً أو حتى على مقربة من السطح.

وبالإجمال، فإن تبلور الفلزات في مهل يتم حسب ترتيب محـدَّد، وغالباً ما يحصل بمعزل عن قابلية الانصهار. وهذا الترتيب هو التالي (حسب روزنبوخ): أولاً الفلزات اللاحقة، أباتيت، زركون، سفين، بـجّـادي، ماغنيتيت، بيريت، وتوجد تقريباً في جميع الصخـور، إضافـة إلى الإيلمينـيت في الصخـور الأساسيـة؛ ثم السيليكات الحديدية ـــ المغنيزية، أوليفين، ديالّاج، أوجيت، هورنبلاند، بيوتيت، وأخيراً السيليكات القلوية والقلويـة ـــ الترابيـة، وسائـر الـصّـفاحيـات (الصفـاح

الكلسية تظهر أولاً)، الصفاح الحديث، المسكوفيت، وأخيراً المرو. فنرى إذاً أن السيليكات الأساسية هي التي تتشكل أولاً، ثم السيليكات الحمضية، وأخيراً السيليس الزائد (مرو) ويتصلب بآخر مرحلة. غير أن هذا الترتيب في التبلور قد لا يحافظ عليه أحياناً. وهذا بخاصة ما يحصل في حالة الصخور ذوات البنية الأوفيتية (انظر فيما بعد) (مثلاً: دياباز)، التي تبدي انعكاساً في ترتيب التبلور، إذ نجد ميكروليتات (إبر) الصفاح مدموجة داخل بلورات كبيرة من البيروكسين.

أما ما يتعلق بتفـرُّد الفلزات في مهل ما، فإن تجارب حديثة لِـ ب. نيغلي، أوحت لهذا العالِـم، مدخلة بالحسبان تجمع ذرات، وشوارد وجزيئات في مغاطس انصهار طبيعية، بأن يميِّـز فيها، كمكونات، أربعة عشر نموذجاً أولياً Prototypes على الأقل أو **«تكـوّنات مسبقة مهلية» Préformes magmatiques**. وهـي عبـارة عن «مركّبات واضحة» متصلة بالتركيب الكيميائي للمغـطس المنصهـر، بضغطـه، وبحرارته، بإمكانها إيصالنا إلى الفلزات الرئيسة بضم SiO^2 وتشكل أملاح مضاعفـة. وهكذا، SiO^4AlK (تكـوّن سابق للنيفيلين) يؤدي إلى $SiO^4 SiO^2 AlK$ (تكـوّن سابق للّوسيت) وَ $SiO^4 SiO^2 SiO^2 AlK$ (صفاح بوتاسي).

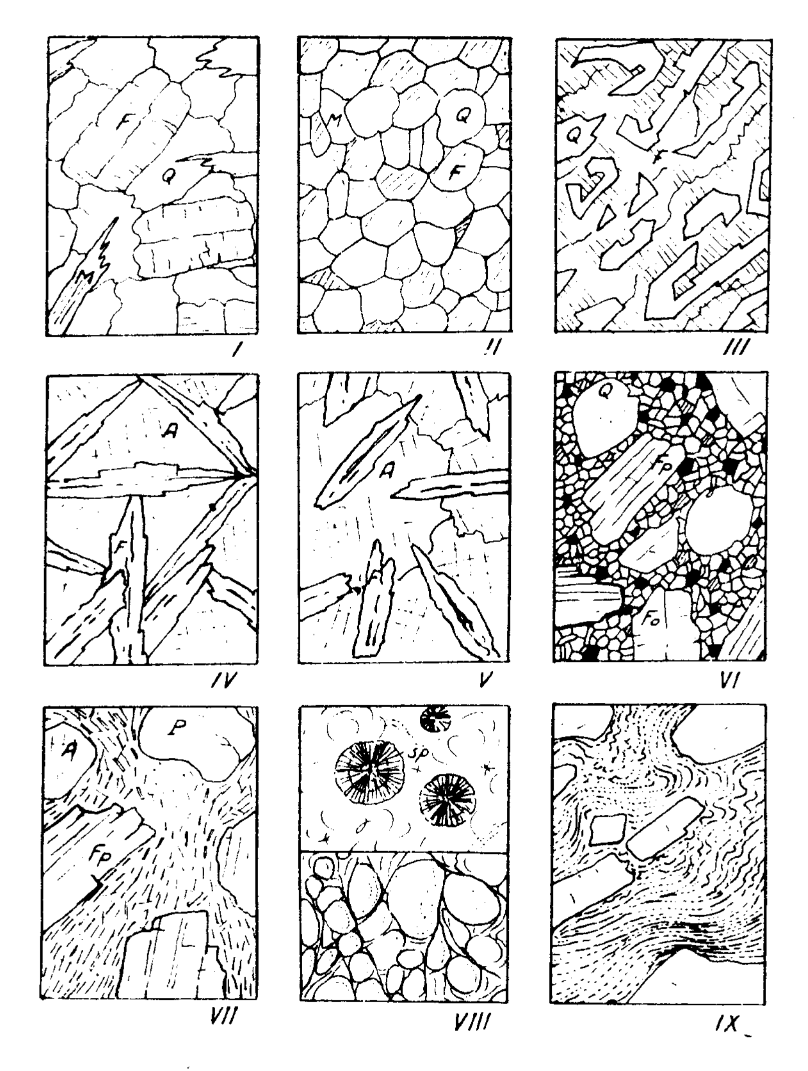
IV ــ نسيج الصخور الإندفاعية Texture

إن هذا يقودنا إلى دراسة نسيج الصخور؛ أي تناسق الفلزات، التي تؤلفها والروابط المتبادلة فيما بينها (شكل ٣٧). ويكون هذا النسيج محـدَّداً بالواقع بسرعة التبـرُّد، وبالضغط وبوجود مُـمَـعْـدِنات.

ففي الصخور ذوات التبلور الكامل؛ أي كلية التبلور، تكون جميع الفلزات نامية وموزعة على التساوي في الكتلة حيث تتمثل فيها على شاكلة حبات: فنقول عن النسيج أنه **حبيبي** أو **غرانيتي** أيضاً لأن هذا النسيج هو نسيج معظم صخور عائلة الغرانيت. ويشتمل هذا النسيج على عدة أنواع، وهكذا فإن النسيج **الشبيه بالغرانيت**

هو نسيج أنواع الغرانيت وفي هذه الحالة، فإن المرو، وهو آخر الفلزات المتشكلة ويُـقَـوْلِـبُ بقية العناصر (شكل ٣٧، I). ومع هذا، فإن المرو غالباً ما يكون مستقلاً وجميع العناصر تبدو كما لو حصل تبلورها في آن واحد. وعندئذ يقال أن النسيج **غرانولوتي** أو **ابليتي** (شكل ٣٧، II) ويظهر الصخر (غرانوليت أو ابليت) تحت عدسة المجهر كفسيفساء من حبات صغيرة. وعندما تكون العناصر غليظة جداً ومشبكة حسب تناظر ما، فالبنية هي بنية البغماتيت (مثلاً: بغماتيت خطي بسبب هيئة بلورات المرو التي تُـظهر على المكاسر حروفاً عبرية)، ومنها اسم نسيج **بغماتيت** أو **خطي** (شكل ٣٧، III). ويمكن اعتبار هذه الأنماط الأبليتية والبغماتيتية كأنواع من النسيج الحبيبي. وهناك نوع آخر وهو النسيج **الأوفيتي** (شكل ٣٧، IV و V)، الذي جئنا على ذكره والمميَّـز بانعكاس تبلور الفلزات، إذ أن الصفاح، يكون هنا على شاكلة إبر كبيرة، تكون في هذه البنية مندمجة داخل بلورات كبيرة من سيليكات أساسية. وفي النوع ذي النسيج **الخليط** **intersertale** القريب من النسيج السابق، فإن جميع العصيات الميكروليتية تكون التصاقية وترسم شبكة ملئَ زَرَدُها بالسيليكات الحديدية ــ المغنيزية.

ويؤلف هذان النوعان الأخيران مراحل انتقالية بين الصخور الكلية التبلور، حيث يكون التبلور قد حصل فيها بصورة متواصلة (صخور ذات زمن تصلب واحد) وبين التي كان التبلور فيها متقطعاً (صخور ذات زمنـيْ تصلب). وتتميز الصخور الأخيرة بنسيج خاص يدعى **بورفيرياً** لأننا نجد فيها بلورات غليظة (بلورات ظاهرة تصلبت في الزمن الأول) والتي تسبح في معجونة (تصلبت في زمن ثان)، كما هو الحال في الصخور التي يطلق عليها عادة بورفير. فإذا تبين تحت عدسة المجهر أن العجين مبلـــور بكليتـــه؛ فنكـــون أمـــام النموذج **الحبيْبـــي المجهـــري** **Microgrenu** (شكل ٣٧، VI). وإن ظهور الميكروليتات (الإبر) عند الصخور الجزئية التبلور، يعطينا النموذج **الميكروليتي** (أو التراكيتي) (شكل ٣٧، VII)، وتلك التي يكون فيها الزجاج غزيراً، يعطينا النموذج **الزجاجي** (شكل ٣٧، VIII و IX)، والمميَّـز فوق ذلك بأعداد لا تحصى من أجسام صغيرة، ذات طبيعة وسيطة بين حالة اللاتبلور

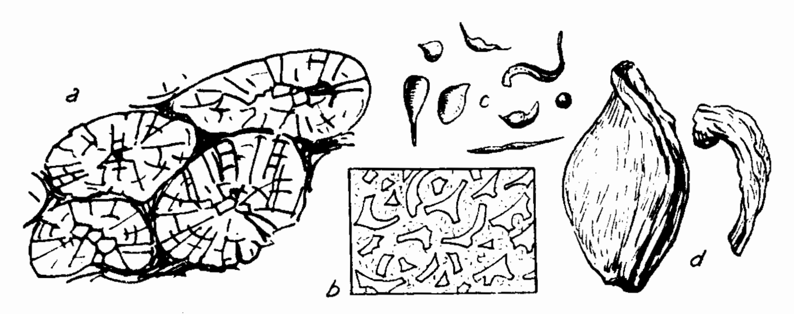


شكل ٣٧ ــ **نسيج الصخور** I، نسيج شبيه بالغرانيت (F، صفاح، M، ميكا، Q، مرو). II، نسيج غرانولوتي. III، نسيج بغماتيتي (بغماتيت خطي). IV، بنية خليطة intersertale (F، عصيات من البلاجيوكلاز مقولبة، بحشوة من البيروكسين أوجيت A). V، بنية أوفيتية (عصيات من البلاجيوكلاز F مستقلة عن العجينة الأوجيتية A). VI، بنية حُبَيْبِيَّة مجهرية (Q، مرو، Fo أورتوز، Fp، بلاجيوكلاز بشكل بلورات ظاهرة داخل عجينة ذات بنية ميكروغرانولوتية). VII، بنية ميكروليتية (بلورات ظاهرة من البلاجيوكلاز Fp، أوجيت A، بريدوت P، داخل عجين لا بلّوري مع عدة ميكروليتات صفاحية) (بازلت). VIII، إلى الأعلى بنية كروية أو زجاجية: كرويات (Sp) وطلائع بلورية (بلـيّرات) في كتلة زجاجية v. إلى الأسفل، بنية لؤلؤية (شقوق تراجع). IX، بنية سيلانية: ذيول في العجين الزجاجي متقولبة على البلورات الظاهرة.

والحالة البلورية ونطلق عليها حسب أشكالها: بليّرات، تريشيت (بليّرات ناعمة تشبه الليف). ونضيف بأن المادة ذات التبلور الغامض لهذه الصخور تنظّم أحياناً على شاكلة كرويات ليفية ـــ شعاعية (بنية كروية) وأنها تتقسّم غالباً بشقوق تراجعية معقوفة إلى كريّات أو لآلئ (بنية لؤلؤية).

وتكون عناصر العجين الدقيقة، ميكروليتات أو بليّرات، غالباً بالإضافة إلى ذلك موجهة على شكل أرتال، شاهدة على حركة سيلان المهل: ويقال عندئذ أنه نسيج **سيلاني fluidale**. وأخيراً فإن تعبير نسيج أو تهشّمي **cataclastique** مخصص للصخور، التي جُرشت عناصرها بالحركات التكتونية وتبدي تعتيماً متموّجاً onduleuse أو متدحرجاً roulante.

ولنلاحظ أنه إلى جانب النسيج، تُعتبر غالباً **البنية Structure**، وهي صفة من الرتبة الثانية، ترجع إلى تحولات في استمرارية الصخور. وهكذا فإنهم يميزون البنية **الهشّة meuble** (حاصلات قذف بركاني مصنفة حسب غلظها إلى جلاميد، قنابل، حصيّات أو رماد بركاني) (شكل ٣٨)، والبنية **المسامية الفقاعية**، **الشريطية**، **الشيستية**، **البريشيوانية**، (شبيهة بالبريش). ويجب أن ننوه بالبنية التي يقال عنها **لابة وسادية «pillow lava»** وهي التي نصادفها أحياناً عند اللابات التي تدفقت تحت المياه والتي تكون فيها كتلة الصخر مؤلفة من تكديس أسطوانات غليظة على شاكلة وسادات (شكل ٣٨، a). وأخيراً فإنه من المناسب أيضاً أن نذكر البنية **الموشورية**، التي تكتسبها بعض اللابات البازلتية، **والمحصورات (جيوب) Les enclaves** في الصخور الإندفاعية، أو جلاميد كبيرة الحجوم تقريباً، مرتبطة منشئياً **بشكل مباشر مع المهل**، أو على العكس مجروفة بالمهل أثناء أخذ المهل مكانه.



شكل ٣٨ ــ **بنية الصخور البركانية a**، بنية لابة وسادية (مصغرة جداً) . b ، نسيج رمادي (رماد بركاني) (مكبَّرة للغاية) . c ، دموع وقطرات بركانية (لوبيات أو حصيّات Lapillis (تكبير طبيعي) . d ، قنابل بركانية صغيرة (تكبير طبيعي) .

V ــ كيفية تكمُّن الصخور الإندفاعية mode de gisement

من هذه الزاوية ، تسمح لنا الملاحظة الجيولوجية على الأرض ، تمييز ثلاثة نماذج رئيسة لها صلة مع عمق التبلور ونسيج الصخر : صخور الكتل ، الصخور العروقية والصخور البركانية أو اللابية (شكل ٣٩) .

الصخور الكتلية massifs لا يمكن ملاحظتها إلّا بعد أن يكون الحت قد كشط بما فيه الكفاية باتوليتاً مرفوعاً بالحركات التكتونية .

ويكون لهذه الصخور ، بوجه عام ، تركيب كيميائي متجانس للغاية وتتكشّف على مساحات شاسعة دون مطابقة مع الطبقات المحيطة بها (شكل ٣٩ ، I و II) . ولما كانت هذه الصخور قد تبلورت في الأعماق فهي كلية التبلور وذات نسيج حبيْبي ويقال عن هذه الصخور أيضاً أنها صخور أعماق ، أو صخور أعماق سحيقة abyssiques (**Tifengesteine** لدى علماء الصخور الألمان) .

صخور العروق وتتولد أحياناً عن السابقة ، مشكّلة عندئذ ما يسمونه **النتوءات apophyses** ، غير أن هذه العلاقة لا توجد غالباً ، أو أنها غير مرئية ، ونقول

ببساطة **عرقاً** (شكل ٣٩ ، IV) . وتتخذ عروق الصخور الإندفاعية هذه ، بالنسبة للصخور المحيطة بها ، عدة أوضاع . فعندما تكون موازية للسافات ، نقول أن الأمر يتعلق بصخر إندفاعي بين طبقات رسوبية : وإذا ما كانت له سماكة تعادل طبقة وسطية فيسمونه عندها بـ **عرق طبقي filon couche** .

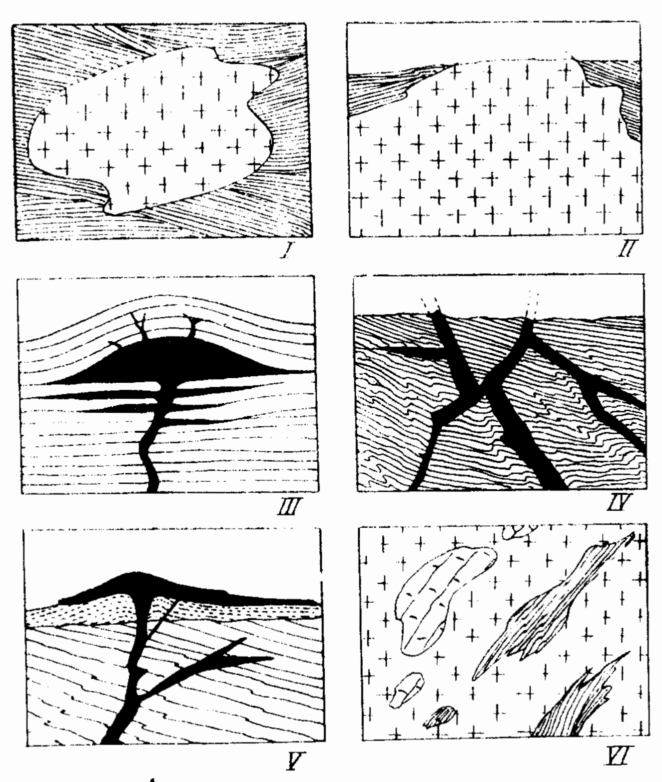
وقد يحصل أن يتحدد صخر داخل بين طبقات رسوبية محلياً ويُبعد بعنف بين الطبقات المماسة له وبخاصة في قسمها الأعلى : وتحمل هذه العدسات الجسيمة أو الأجراس ، عندئذ اسم **لاكوليتات** (شكل ٣٩ ، III) . ويظهر هنا بديهياً ، أن المهل الإندفاعي قد وصل إلى موضعه بالحالة المائعة وأنه تصلب فيما بعد .

ويمكن أحياناً لعرق من صخر اندفاعي أن يتقاطع ثانية مع الطبقات مصادفة معطياً انطباعاً بالإندفاعية ، ومن الجلي ، في هذه الحالة ، أن المهل الأصلي حقن في شق من الأرض موجود من قبل ، ويقال عن العرق أنه **مستعرض transverse** . وأخيراً فإن بعض العروق عمودية المظهر تعود إلى مداخن بركانية قديمة ، يطلقون عليها لفظة **أعناق necks** .

إن هذه الصخور العرقية قد تم تصلبها بمواقع أقرب إلى السطح من السابقة ، فهي صخور شبه عميقة أو سحيقة جزئياً ، ونسيجها على العموم حبيبياً مجهرياً ، ابليتية أو بغماتيتية .

الصخور البركانية أو الانسياحية (ويقال لها أيضاً لابية أو تدفقية Ergussgesteine) (شكل ٣٩ ، V) هي التي انساحت من البراكين ، وتصبح غالباً بحالة **مسكوبات coulées** ، أو منتجات قذف فَرِطة ناجمة عن انفجار مواد متصلبة (قنابل ، حصيات ، رماد ، غبار حسب الضخامة المتناقصة للعناصر التركيبية) . ونجد هذه الصخور البركانية أيضاً على شاكلة قبب ، وهي نوع من سدادة مهلية تسد مدخنة بركانية وحتى أنها تكون مبعدةً عنها جزئياً . أما عروق الصخور البركانية ذات الصلة بمدخنة الفوهة هي **جدّات Dykes** . أما اللاكوليتات المحقونة في كتلة البركان فهي **عروق طبقية Sills** .

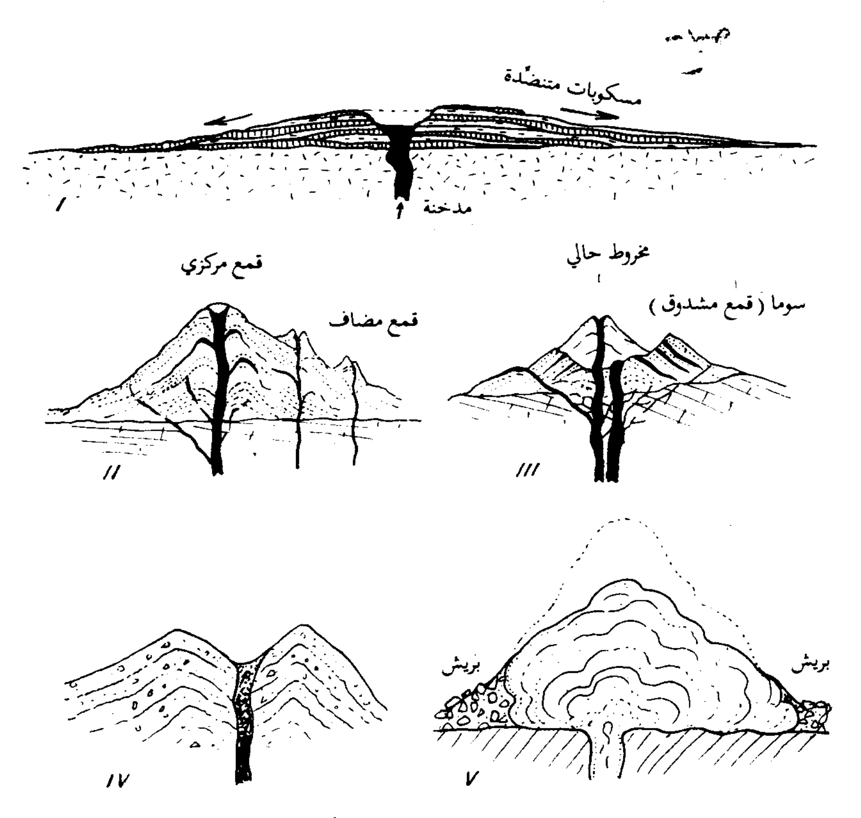
ونلاحظ أن صبات قديمة قد نجدها بين الطبقات في زمرة صخور رسوبية، فالأمر في هذه الحالة لا يتعلق بعرق طبقي، إذ أن عرقاً كهذا يكون تالياً للمجموعة الصخرية التي يحقنها، بينما في حالتنا هنا؛ فإن المسكوبة جرت فوق الطبقة الدنيا وهي سابقة للساف الذي يغطيها.



شكل ٣٩ ــ **كيفية اكتمان الصخور الإندفاعية** I و II، كتلة في المستوى الأفقي إلى اليسار، مقطع إلى اليمين. III، لاكوليت. IV، عروق. V، صخور لابية. VI، محصورات أو جيوب.

ويكون الشكل العام للبراكين محدداً بغلبة إحدى هذه المواد (شكل ٤٠). وهكذا نرى أن البراكين ذات اللابات (نموذج **هاوائي Hawaïen**، نسبة لبركاني كيلويه Kilauea وموناالوا Mona-Loa، في جزر هاواي أو ساندويش) لها مخروط منخفض للغاية. فلا تبدي الثورانات أي عنف، وتكون اللابة هنا مائعة للغاية، تسيل من بحيرة حمم الفوهة كنهر (شكل ٤٠، I). ونجد في النموذج **السترومبولي** (من جزيرة

سترومبولي ، في جزر ليباري) ، أن الصبات ، على العكس ، ترافقها انفجارات تقذف مواد غزيرة متوهجة (قنابل ، حصيَّات) (شكل ٤٠ ، II) . وتتكدس هذه المواد على شاكلة طبقات مائلة حول الفوهة محددة بذلك مخروطاً من الأنقاض ذا انحدار شديد .



شكل ٤٠ ــ نماذج مختلفة من البراكين الحالية I ، نموذج هاواني . II ، نموذج سترومبولي . III ، نموذج مختلط (فيزوف) . IV ، نموذج فولكاني أو انفجاري . V ، نموذج بيلي أو بركاني مصلَّب[1] (br ، بريش انهياري) .

وتكون الانفجارات هي القاعدة في البراكين من النموذج **الفولكاني** (من فولكانو في جزر ليباري) (شكل ٤٠ ، IV) ، إذ أن اللابة لما كانت هنا لزجة للغاية ، فإن المدخنة تكون بحالة انسداد على الدوام فيما بين الانفجارات ولا تكون لابة الفوهة مطلقاً على اتصال مع الوسط الخارجي . فعند كل انفجار تنسحق السدادة بالدفع

(١) بركان ذو حمم حمضية تتصلب في فوهته . Cumulo-Volcan .

الصاعد لكل من المهل والغازات، وتنقذف كتل جسيمة من الغبار، المترافقة بقنابل، في الفضاء مولّدة مخروطاً من الأنقاض ذا انحدار بسيط أو مضاعف.

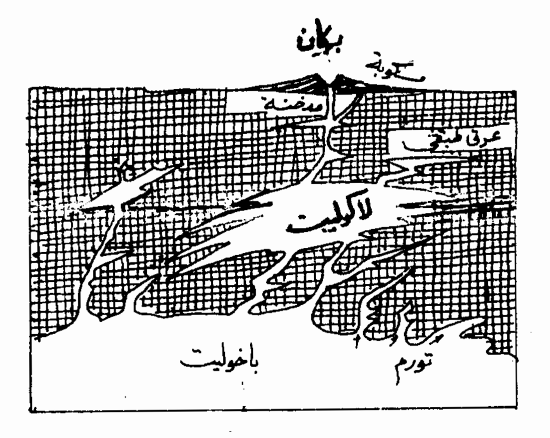
أما بركاني إيتنا وفيزوف وهما بركانان من النموذج المختلط فيقدّمان مثلاً على التوالي للنموذج الفلوكاني والنموذج السترومبولي. وقد نجم عن ذلك أن مخروطيهما يقدمان مظهراً متطبقاً نتيجة تعاقب طبقات من أنقاض ولابات (شكل ٤٠، III). ونجد براكين متطبقة كهذه مستحاثة، في الكتلة المركزية (كانتال، موندور).

وفي النهاية لدينا نموذج أخير من البراكين هو النموذج **البيلي** **Peléen** نسبة إلى جبل بيليه في المارتينيك، ويمكن اعتباره كاستفحال للنموذج الفولكاني (شكل ٤٠، V). وتكون اللابات لزجة للغاية وتتكدس عند مدخل المدخنة وتُطرَد تدريجياً معطية مسلات أو قبباً منخفضة تقريباً. وهكذا نفسر بعض ذرى منطقة بوي وقمم الأوفرن.

وقد تبين آ. لاكروا، الذي ندين له بمعرفتنا بهذا النموذج، الهام جداً، أن الثَوَران هنا يترافق ببث **سحب متوهجة** **nuées ardentes** حقيقية، اعتبرت لفترة طويلة من الزمن كأسطورة وناتجة عن الضغط الهائل، الذي يتشكل تحت سدادة اللابات. إن براكين كهذه محرومة من فوهة حقيقية ومتميِّزة بعدسة من اللابة على شاكلة قبة ينعتونها أحياناً ببراكين ــ مركومة.

وبما أن جميع الصخور البركانية قد تصلبت على السطح، أو على مقربة من السطح، فإن لها بنية ميكروليتية أو زجاجية، وأن لمعظمها مظهراً خبثياً، فقاعياً أو جويفيّاً، إذ أن الغازات انطلقت بشكل كتلوي في برهة انكشافها للنور.

إن ما جئنا على ذكره يوضح لنا أن مهلاً قد تصلَّب على كل سماكة القشرة الأرضية. والملاحظة تعلمنا أن نربط بين مختلف هذه المهلات ببعضها (شكل ٤١). ويقرِّون الآن فعلاً أن اللاكوليتات هي الخزانات، التي تتغذى منها البراكين. وهذه اللاكوليتات نفسها على علاقة مع الباتوليتات الأكثر عمقاً، بحيث أن كل صخر حاصل يمكن لأن يمرّ على بقية الصخور بممرات غير محسوسة. وبالاختصار، فإنه لا توجد، بصريح العبارة، أجناس بتروغرافية.



شكل ٤١ ــ العلاقات بين الصخور العميقة والصخور السطحية (براكين). يمثل التربيع القشرة الرسوبية أو الاستحالية ــ الأبيض يمثل المهل الإندفاعية.

VI ــ تصنيف الصخور الإندفاعية

لما كان يتوجب علينا مع ذلك الوصول إلى توضيح وتفصيل النماذج العديدة للصخور الإندفاعية، التي تقدمها لنا الطبيعة، كان لا مندوحة لنا من إيجاد تصنيف لها.

لقد أورد العلماء على التوالي عدة معايير. فقد أقام آ. جيكي والمؤلفون الألمان معيارهم، على إثر روزنبوخ، **على كيفية التكمُّن**، مميزين صخوراً كتلية بالأعماق، وصخوراً انسكابية أو تدفقية، وأخيراً صخوراً عروقية. لكن كما سبق أن رأينا، فإنه من الصعوبة بمكان إقامة حدود بين مختلف الزمر هذه. وهنالك تصنيف قديم يدخل في الحسبان عمر الصخر ودفع بالجيولوجيين إلى تمييز زمرة إندفاعية قديمة (قبل الحقب الثلاثي) ومرة حديثة (ثالثية ورابعية). فمنذ زمن بعيد، بالواقع، كانوا يظنون أن الإندفاعية لم تظهر إلّا في الحقب الأول (من الديفوني إلى البرمي)، ثم من جديد اعتباراً من الثالثي، والعصور الوسيطة (ترياسي، جوراسي، كريتاسي)، كانت مميَّزة بمرحلة استراحة طويلة. فإذا كان هذا الأمر، والحالة هذه محققاً في أوروبا، وهي البلاد التي ولد فيها هذا التصنيف، فإنه، على العكس، نجد في مناطق أخرى، في آسيا وأمريكا، أن اندفاعات عنيفة ميَّزت هذه العصور.

وإضافة إلى ذلك، فإنهم لما كانوا يعتقدون بوجود فارق شكلي لنماذج صخور هاتين الزمرتين فقد أسندوا إليها أسماء مختلفة. وهكذا فالريوليت، والتراكيت، والآنديزيت ــ لابرادوريت وبازلت الزمرة الحديثة هي المعادلة للبورفير البتروسيليسي (أو الكوارتزي)، الأورتوفير، البورفيريت وميلافير من الزمرة القديمة. وعليه تكون قائمة المصطلحات (العرفية) مزدحمة للغاية، ولما كنا نعلم الآن بأن الصخور القديمة لا تميَّز عن الحديثة إلّا بفسادها الأكثر تقدُّماً، فقد تقرر ألّا نأخذ بالأسماء المطلقة على الصخور الحديثة. غير أن هذه القاعدة ليست مطلقة وأن كثيراً من التسميات القديمة مازالت مستعملة.

ولا نجد المساوئ التي تبديها هذه التصانيف أبداً في تلك التي وضعها فوكيه وميشيل ليفي، منذ عام ١٨٧٩، والمبنيَّة قبل كل شيء على التركيب المينيرالوجي والنسيج، وهي صفات من السهل ملاحظتها على أقل عيِّنة من الصخر مصحوبة بشريحة رقيقة. وهذا التصنيف، العملي جداً لجيولوجيي الحقل، هو الذي ما زال مستعملاً بصورة دارجة في فرنسا، وهو الذي سنأخذ به في هذا الكتاب. ويمكن تقديمه بسهولة على شاكلة جدول ذي مدخلين: المداخل الرأسية مخصصة للتركيب المينيرالوجي (صخور ذات صفاح قلوي أو صفاح كلسي ــ صودي، مع مرو أو بدونه، صخور ذات صفاح حديث فحسب، صخور ذات صفاح، صخور خالية من العناصر البيضاء). وتخصص المداخل الأفقية للنسيج (حبيبي، حبيبي مجهري، أوفيتي، ميكروليتي، زجاجي).

ونصل بهذا التصنيف إلى تتابع لعائلات متجانسة ذات حموضة متناقصة: غرانيت، سيينيت، سيينيت نيفيليني، ديوريت، غابرو، غابرو نيفيليني، إيجوليت، بريدوتيت، تتألف كل عائلة من جميع نماذج البنية بدءاً من النماذج الكلية التبلور الحبيبية حتى النماذج الميكروليتية وحتى الزجاجية. (انظر الجدول التالي صفحة ١٦٣).

أما **التركيب الكيميائي** للصخور، ويؤلف وجهة نظر فكّر بها منذ القديم، إيلي دي بوفون، وتقضي بتقسيم الصخور حسب غناها بالسيليس (صخور حمضيّة، حيادية، أساسية)، وأخذت بها حديثاً، المدرسة البتروغرافية الأمريكية، من أمثال:

W.Cross ، Iddings ، Pirson ، Washington ، على اعتبار أنها أساس للتصنيف . غير أن هذا التصنيف ، الذي يستعمل التحليل العادي للصخور (انظر سابقاً ص ٨٨) وعدة بارامترات ، ليس عملياً لجيولوجي الحقل ، وهذه وجهة نظر نقف بجانبها بنوع خاص . وعلى كل الأحوال فإنها تعتمد على مصطلحات معقدة وغريبة من الصعب التمسك بها . وفضلاً عن ذلك فإن التحليل الكيميائي لصخر ما يمثل بحد ذاته عملية طويلة ودقيقة . وإذا كان بالإمكان استنتاج **بصورة إجمالية** التركيب الكيميائي اعتماداً على تركيبه المينيرالوجي ، فإن العكس غير صحيح . ولكن ، إذا كان تصنيف كهذا يطلعنا بشكل رديء على طبيعة صخر ، ومظهره ، ومنشئه ، فإن من الواجب الاعتراف بأنه يؤدي خدمة كبيرة للأخصائيين الذين يسعون لمقارنة مختلف أنواع المهل وتتبع تطورها .

ولقد سعى آ . لاكروا في فرنسا و ب . نيغلي في سويسرا ، للتوفيق بين وجهات النظر الكيميائية والمينيرالوجية في تصانيفهما .

وهكذا فإن آ . لاكروا يعتمد بادئ ذي بدء على بارامترات مهلية مستنتجة من التحليل المينيرالوجي الكامل (انظر سابقاً ص ١٢٦) ، أما نسيج الصخر المتعلق بشرائط التكمُّن والتصلب ؛ فيأتي في المكان الثاني . وتكمن أصالة هذا التصنيف في أن جميع أنواع المهل من ذوات التركيب الكيميائي المشابه يجب أن تعطى لها تسميات من نفس النوع في تقسيمات الترتيب الأول ، وإن طلائع الصفوف (نماذج العائلات) ملحوظة ومحسوبة . وثم تكون كادرات من الترتيب الثاني مميَّزة بفضل الفلزات البيضاء الرئيسة (مرو ، صفاح ، صفاح حديث) ، التي تكون المسيطرة في الغالبية العظمى للصخور والتي تعبر تماماً عن الخصائص الرئيسية للمهل ؛ ثم تقام كادرات الترتيب الثاني باستعمال الفلزات السوداء ، أو المجموعات التي توجد فيها هذه الفلزات لوحدها فتلحق بكادرات المجموعة الأولى حسب التركيب الكيمياوي .

هذا ولا يمكن مقاربة الصخور تحت البلورية والزجاجية من طلائع الأرتال إلّا بالعمل على تدخل التركيب الكيميائي ، مما يسهل صفّها في هذه العائلة أو في تلك .

غير أن تحليل صخر ما يقوم دائماً على عدد كبير من الفلزات، ويجب أن تتجاوز حدود التحولات في التركيب الكيميائي لمختلف العائلات بعضها على بعض: ونجد أحياناً صعوبة في القول إلى أية عائلة يجب إسناد مثل هذا الصخر المحلل. ويدخلون هنا، لحسم الخلاف، ما أسماه آ. لاكروا **بالتركيب المينيرالوجي الافتراضي** **composition minéralogique virtuelle**، الذي يسهل المقارنة بين صخور جزئية التبلور وصخور كلية التبلور. إن أموراً هامة وغير متوقعة أمكن بذلك إيضاحها، إذ أن صخرين من تركيب مينيرالوجي مختلف يكون لهما غالباً التركيب الافتراضي نفسه وبالإمكان مقاربتهما من بعض (**نماذج مختلفة الأشكال** حسب لاكروا)، أو بعبارة أخرى نقول: يمكن لبعض الأسس أن تتمركز على مجامع الذرات[1] المختلفة، غير أن النتيجة تظهر، في التحليل الإجمالي، متماثلة[2].

ويمكن أن نعبّر عن ذلك بقولنا: أن معرفة التركيب المينيرالوجي لصخر ما ومعرفة بنيته يجب أن تدعم بالإطلاع على **تركيبه الكيميائي الكمّي**، الذي يمثل تركيب المهل الأصلي. ثم يصار فيما بعد إلى مقارنة هذا التركيب الكيميائي بالتركيب المينيرالوجي الحقيقي، وذلك بحساب، اعتباراً من التحليل، **تركيب مينيرالوجي افتراضي**. وتبعاً لتحولات **فلزات معيارية**. وعندئذ نصل إلى التعبير بشكل منسجم عن تركيب جميع الصخور، اعتباراً من أن كل نموذج محدد ببارامترات Paramètres مهلية ممثلة نسبة الفلزات المميّزة وكذلك للنسبة الكيميائية.

وأخيراً، يميز لاكروا في الصخور نصف البلورية، التي تحوي مادة لا بلورية، وذلك بالإضافة للنماذج العادية، المستقيمة، نماذج يقال عنها **خفية الشكل** **cryptomorphes**، حيث تظهر فيها فلزات غير متوقع وجودها اعتماداً على التركيب الكيميائي الإجمالي، مثلاً كوارتز عندما لا يشير التحليل الكيميائي لوجود سيليس حر.

---

(١) تجمع ذرات يتصرف كعنصر في الاتحادات.

(٢) مثلاً: خليط من أورتوز وبيوتيت (معادل للسيينيت) (حجر أسوان)، انصهر، ثم أعيدت شيّهُ ثانية، فأعطى زجاجاً مع بلورات من لوسيت، أوليفين، حديد مؤكسد، مما يقابل الميسّوريت. (تجربة فوكيه وميشيل ليفي). فنقول أن السيينيت الميكاوي والميسّوريت هما نموذجان مختلفا الأشكال.

جدول تصنيف الصخور الاندفاعية (حسب فوكيه وميشيل ليفي ، مبسَّط)
(أسماء الصخور المميَّزة التي تتصدر عنوان العائلة وضعت بأحرف غليظة)

صخور ذات صفاح بدون صفاح حديث (شبه صفاح)					صخور ذات صفاح . وصفاح حديث		صخور ذات صفاح حديث . بدون صفاح	صخور خالية من الصفاح والصفاح الحديث
	صفاح قلوي		صفاح قلوي — صودي مع مرو أو بدونه		صفاح قلوي	صفاح كلسي صودي	"	
نسيج	مع مرو	بدون مرو	بلاجيوكلاز حمضي	بلاجيوكلاز أساسي				
حبيبي	**غرانيت**	**سيينيت**	**ديوريت**	**غابرو** نوريت	**سيينيت نيفيليني** سيينيت لوسيتي الخ	**غابرو نيفيليني** غابرو لوسيتي الخ (استكسيت ، تيراليت)	**إيجوليت** (نيفيليني) ميسوريت (لوسيتي) تاويت (صوداليت)	**بيريدوتيت** (أوليفين) بيروكسينوليت (بيروكسين) هورنبلانديت (هورنبلاند)
حبيبي مجهري	ميكروغرانيت	ميكروسيينيت	ميكروديوريت	ميكرو غابرو ميكرونوريت	ميكروسيينيت نيفيليني ميكروسيينيت لوسيتي ، إلخ .	ميكرو غابرو نيفيليني ميكروغابرو لوسيتي ، إلخ ..		
أوفيتي	ميكروغرانيت	ميكروسيينيت	ميكروديوريت	دوليريت (دياباز) أوفيت	"	"	"	بيركيت
ميكروليتي	ريوليت	تراكيت	آنديزيت	لابرادوريت بازلتيت بازلت	فونوليت	تيفريت ليكوتفريت	نيفيلينيت لوسيتيت	أوجيتيت لامبروجيت
زجاجي	أوبسيديان ، خفّان ، بشتين ، تاشيليت							

إن هذا التصنيف الكيميائي ـــ المينيرالوجي ، الـذي له قيمـة كبيرة لدى البتروغرافيين ، بالإضافة إلى كونه يعرض مساوئ التصانيف الكيميائية البحتة ، فهو يهمل كثيراً الدور الجيولوجي ، الذي يلعبه الصخر ، وهو بالنسبة للجيولوجي ، غير قادر على أن يحل محل التصنيف المبني فقط على الصفات المينيرالوجية ، والعائد لفوكيه وميشيل ليفي ، والذي تبنيناه هنا .

٢ ـــ مختلف عائلات الصخور الإندفاعية

I ـــ عائلة الغرانيت

تتميز صخور هذه العائلة ، من الناحية الكيميائية ، بغلبة القلويات على الكلس وبنسبة عالية من المرو ، قد تصل إلى ٨٠٪ .

أ ـــ نماذج حبيْبيَّة (صخور كتلية)

إنها صخور كلية التبلور (شكل ٤٢) ذات زمن واحد من التصـلُّـب ؛ أي أن تبلور العناصر كان فيها مستمراً . ونجد النموذج عنها في الغرانيت (من **غرانم** ، حبـَّـة) ، الذي يمكن تعريفه ، بصخر كلي التبلور مؤلف بصورة رئيسة من مجموعة مرو وصفاح (أورتوز وميكروكلين في أنواع الغرانيت القلوية ، هذا بالإضافة إلى بلاجيوكلاز في الغرانيت الكلسي ـــ الصودي) مع ميكا ، أمفيبول أو بيروكسين ، وأخيراً من فلزات ملحقة (زركون ، أباتيت ، ماغنيتيت ، إيلمينيت) ، بنسبة ضئيلة . المرو هو آخر عناصر التماسك ويقولب بقية العناصر ، وخصائصه ، وكذلك خصائص بقية الفلزات المجتمعة معه ، سبق أن ذكرت أعلاه .

إننا نذكر أدناه وعلى التوالي التراكيب الكيميائية لغرانيت ذي ميكا سوداء لقمة هايا **Mont Haya** (جبال البيرينيه الباسكية) ، وغرانيت فلامـا نفيـل **Flamanville** عادي وغرانيت ذي أمفيبول في منطقة هوهفالد (جبال فوج) .

H_2O	P_2O_5	Na_2O	K_2O	MgO	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	SiO_2
٠ر٢	٠٠ر٦	٢ر٨	٦ر١	٠ر٥	»	٢ر٠	١٣ر٩٤	٠ر٤	٧٤ر١
»	»	٤ر٠	٤ر٧	١ر٢	»	٣ر٨	١٥ر٦	»	٦٩ر٨
١ر١٦	»	١ر٨١	٤ر٢٤	٢ر١٤	٠ر٦٩	٤ر٢١	١٨ر٠٤	»	٦٥ر٨١

أنواع الغرانيت : توجد، باديء ذي بدء، أنواع مصنفة على أساس غلظ الحبات (غرانيت ذو حبات غليظة، وحبات صغيرة) أو على المقياس الاستثنائي، الذي تأخذه بلورات الأورتوز (غرانيت **بورفيروئيدي**). وعندما تكون العناصر، بخاصة الميكا، **موجّـهة تقريباً**، نكون أمام نوع **غنايسي**، كما يسمونه، غير أن توجيه البلورات يمكن أن يؤدي إلى كرات غليظة مؤلفة على التناوب من كرات من ميكا بيوتيت ومن كرات ذات عناصر بيضاء، هذا النوع محقق في الغرانيت **الدائري أو الحَـلَقي orbiculaire** (فنلندا).

والأنواع المصنفة على أساس التركيب المينيرالوجي هي الأهم **ويكون الغرانيت ذو البيوتيت (وهو الغرانيت** لدى علماء البتروغرافيا الألمان) هو الأكثر شيوعاً. وفي **الغرانيت ذي الأمفيبول**، يحل هذا الأخير كلياً تقريباً محل البيوتيت الأسود تقريباً. والأمفيبول هو الريبيكيت (أمفيبول صودي) في الغرانيت القلوي، والهورنبلاند في الغرانيت الكلسي ـــ الصودي. وبالمناسبة نفسها، يصبح الصخر أكثر أساسية. وهكذا فإن **فونيريت Vaugnérite** ضواحي ليون، هو غرانيت ذو أمفيبول وميكا سوداء وأساسي جداً مع أوليغوكلاز ولابرادور. ويوجد أيضاً غرانيت ذو بيروكسين وهو أساسي تقريباً [1]. **والغرانيت ذو الميكا البيضاء** (أو ذو نوعي الميكا)، هو الغرانيت الحقيقي بالنسبة للمؤلفين الألمان، يحتوي غالباً على دخيلات من الكاسّيتيريت، الذي يؤلف منه مكمنه الأكثر شيوعاً. ولنذكر أيضاً **الغرانيت ذا كورديبريت** وذا سفين (يجتمع غالباً مع الأمفيبول).

---

(١) يحتوي غرانيت راباكيفي Rapakivi المشهور، في جنوب فنلندا، على أمفيبول وبيروكسين، وبلورات كبيرة من أورتوز (ميكروكلين) وردي، وأخيراً على صفاح كلسي ـــ صودي متحول إلى سيريسيت أخضر. وتعني راباكيفي باللغة الفنلندية «حجر فاسد». جاء وصف صخور غرانيتية من هذا النموذج في فرنسا (بريتانيا).

وهناك أنواع أخرى تأخذ بعين الاعتبار النسيج. وهكذا يكون المرو، في **الغرانوليت granulites** (شكل ٤٢، III) حُبَيْبِيّاً وغالباً ثنائي الهرم؛ فالصخر شديد الحموضة، والصفاح البلاجيوكلازي يتلاشى وتحل الميكا البيضاء محل الميكا السوداء دائماً تقريباً ونجد هنا عدداً كبيراً من الفلزات الملحقة: تورمالين، زمرد، سفين، بـجّـادي، أباتيت، ماغنيتيت، ليبيدوليت. وتحت إسم غرانوليت، الذي يدعو للالتباس (يطلق علماء البتروغرافيا الألمان هذا الاسم على صخر استحالي[1]). يفضلون حالياً إسم **غرانيت ذو مسكوفيت**. **والأبليت aplite** هو نوع عرقي أبيض، ذو حبات ناعمة للغاية لا نميِّز فيها بالعين المجردة إلّا الصفاح لوحدهُ[2]. وإذا تلاشى الصفاح برمّته تقريباً، فإن الصخر يدعى بِـ **غريزن greisen**. وعندما تصبح عناصر الأبليت ضخمة، فالصخر يسمى بِـ **بغماتيت pegmatite**، وحينئذ، غالبـاً ما نجد بلورات المرو والصفاح قد تبلور أحدها ضمن الآخر وتكون موجهة وتعطي بلورات المرو، الممثلة بعصيات طويلة، عند المكسر، آثـاراً تذكرنـا بالأحـرف المسمارية (**بغماتيت خـطّي**، شكل ٤٢، IV).

ويدل وجود فلزات غنية بالمعدنات (بور، فلور) على أن الأبليت والبغماتيت والغرانوليت، التي هي صخور على حواف الكتل الجبلية الغرانيتية، قد نشأت بفعل مؤثرات غازية (انظر سابقاً ص ١٢٨) لليحمومات Furmerolles المعدنة. وهذه الصخور هي مكامن الكاسّيتيريتِ، والغرافيت (سيلان)، الميكا البيضاء وغالباً ركازات عناصر ذات نشاط إشعاعي (بشبلاند) وترب نادرة.

ونجد في بعض غرانيت الألب المسمى **بروتوجين Protogines** أن الميكا فيه قد تحـوَّل إلى كلوريت، وهو فلز أخضر، بفعل الحركات التكتونية. فبروتوجين القمة البيضاء هو صخر صاف، حمضي (٧١٪ من SiO_2 وسطياً)، مميَّـز بنوعية الميكا فيه

---

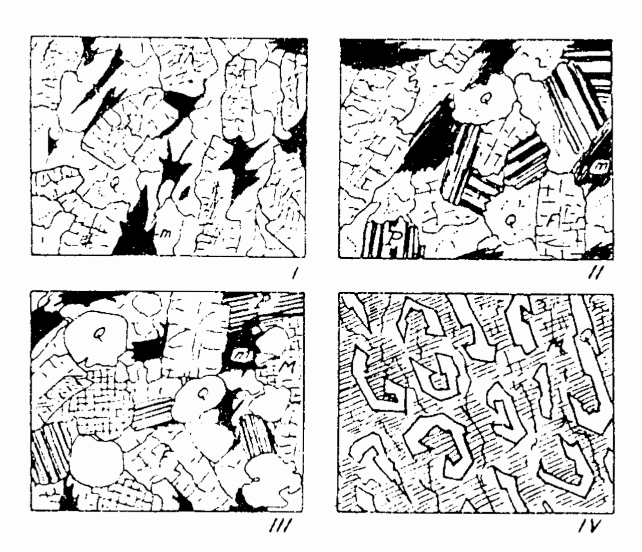
(١) إنه **اللبتـنيت Leptynite** في التسمية الفرنسية، وهو صخر أبيض مروي مشحو ببـجّـادي صغيرة حمراء.

(٢) يطلقون أحياناً لفظة **أوريت Eurite** على نوع مبلور بشكل ناعم للغاية، وشبه متآخذ، من الابليت.

المحوَّلة دائماً إلى كلوريت، وببلورات ضخمة من الأورتوز المتوأم والمحوَّل غالباً إلى ميكروكلين وسيريسيت. أما الصفاح والمرو؛ فيكونان دائماً مجروشين وبيديان تعتيماً متموجاً (نسيج مهشم).

وهناك عدة نماذج من الغرانيت الألبية (غرانيتية، غنايسية، بورفيروئيرية) جعلتها الاستحالة الديناميكية أحياناً عسيرة التمييز عن الشيست البلوري. وتكون الحشوات الأساسية فيها كثيرة الوجود. فيتميز بروتوجين بلفو على الخصوص، التي تكون فيه الميكا أيضاً متحولة إلى كلوريت، بصفاحه الذي يكون وردياً (أورتوز مخترق بأوليجيست) وأخضر (ألبيت وأنورتيت)؛ وهذا الصخر الجميل هو أغنى بالبوتاس من السابق. ونجد الصفاح، وبخاصة الأورتوز، في بعض أنواع الغرانيت، الذي لحقه الطي، قد تحول تقريباً إلى سيريسيت.

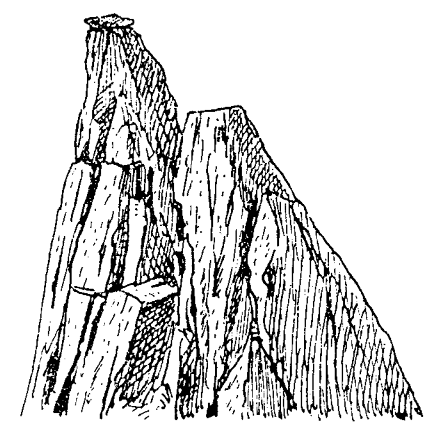
ويطلقون لفظة **ميلونيت mylonite**، على غرانيت مجروش يكون نسيجه مهشماً، وقد توسعوا في هذه التسمية فأطلقوها على جميع الصخور المجروشة مهما كان منشؤها.



شكل ٤٢ ـــ صخور حبيبية من عائلة الغرانيت I، غرانيت عادي. II، غرانيت ذو بلاجيوكلاز (أوليغوكلاز). III، غرانوليت. IV، بغماتيت خطّي (Q، كوارتز. m، ميكا. F، صفاح أورتوز. p، بلاجيوكلاز. M، ميكروكلين).

تفردات أُسسية أو قاعدية Ségrégations basiques: إنها بقع سوداء تظهر في بعض الغرانيت وتكون مؤلفة من فلزات أساسية (بيوتيت ، هورنبلاند) . وتنجم إما عن فصل سهلي، أو عن هضم ناقص لحشوات من الصخور المغلّفة أثناء احتلال المهل مكانه .

وغالباً ماتكون هذه الحشوات، في الغرانيت الذي لحقه الطي (بخاصة البروتوجين) موجهة وتدل على اتجاه سيلان المادة التالي للدفعات الأوروجينية .



شكل ٤٣ ــ **مسلة من الغرانيت**. بلاطات من بروتوجين مع فصمات في قمة الغريبون (٣٤٨٢م) (كتلة القمة البيضاء « مونبلان ») .

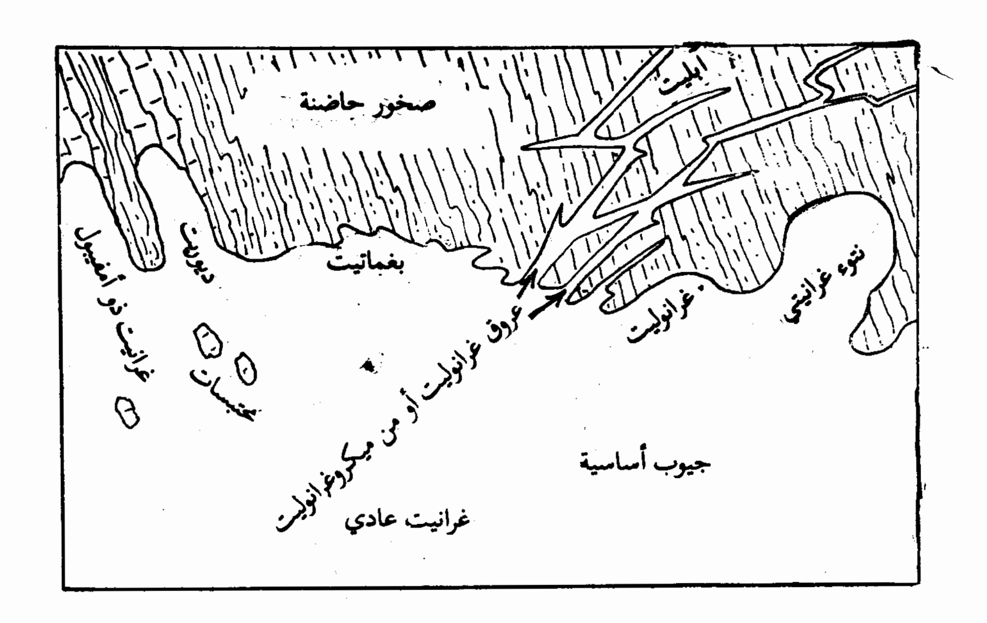
شرائـط تكـّـن ومنشأ الغرانيت: نعلم أن الغرانيت هو صخر تصلب في الأعماق [1] . ثم صعد إلى ارتفـاع ما بحركات الأرض، وتخلّص من الصخور المغطية له بظاهرات الحت . وتحتل تكشُّفات الغرانيت مساحة كبيرة جداً على سطح الأرض وتشكل كتلاً ، يمكن لهذه الكتل أن تكون مسحوجة أو تتقولب على هيئة قبب واطئة ، أو عالية ، أو مسلّات مميَّزة (شكل ٤٣) . وغالباً ماتكون هذه الكتل الجبلية **محددة تماماً** وذات تجانس كبير في التركيب ؛ فهي ليست بذات علاقة حتمية مع التكتونية وتقطع كالمجواب[2] الصخور (رسوبية أو استحالية) ، التي احتضنتها ، وهناك ظاهرات طبخ يطلقون عليها بصورة عامة (استحالة أو تحوّل) اعترت على هذا النحو الصخور ، التي تكون على تماس معها ، مما يبرهن على أن المهل الغرانيتي قد احتل مكان الصخور الموجودة من

---

(١) وناجم عن أنواع المهل وهي مغاطس حقيقية من سيليكات سائلة مترافقة مع أبخرة ممعدنة (بور ، فلور ، كلور) ، حُقِنَت في الرسوبات .

(٢) المجواب : آلة الخرق (مخرم) .

قبل والتي اقتبس منها بعض المواد أو أعطاها بعض موادّه. فطبيعة الكتلة أصابتها تحولات على الأطراف، ويشحن الغرانيت في هذه النطاقات بفلزات سوداء (غرانيت ذو أمفيبول) (شكل ٤٤). وترسل هذه الكتل الغرانيتية غالباً على محيطها نتوءات من صخور مختلفة (أبليت، بغماتيت) متأتية من تمايز المهل الأصلي، وتشهد على المؤثرات الغازية. حتى أنه يمكن أن نجد عروق الأبليت في وسط الكتل الغرانيتية. ويحدث غالباً أن يصل سقف هذه القباب الغرانيتية إلى السطح ليتدفق على شاكلة لابات لها التركيب الكيميائي ذاته (ميكروغرانيت، ريوليت)[1].



شكل ٤٤ ـ تحولات الحافة في كتلة غرانيتية.

وإلى جانب هذه الكتل الغرانيتية المحصورة المواقع تماماً والكلاسيكية، جاءت أعمال علماء البتروغرافيا الحديثين، وبخاصة أعمال سيدرهولم في فنلندا[2] لتطلعنا على

(١) ولهذا فإنهم يقرّون الآن بأن تصلب الغرانيت لم يتم بالضرورة على أعماق كبيرة.

(٢) ج. ج. سيدرهولم. **صخور ما قبل الرابعي لفنلندا** (نشرة لجنة فنلندا الجيولوجية رقم ٩١، ١٩٣٠).

ضرورة تمييز كتل ذات مكامن **منبثة** يصعب تحديدها ومرتبطة بالاستحالة العامة. فالصخور المغلِّفة أو الحاضنة تكون في هذه المرة محقونة صفاً فصف وكأنها مشرَّبة بالغرانيت. فالصخر الخليط المشرَّب يدعى **مغماتيت** (شكل ١١٩، VII و VIII) ويدعى الغرانيت المشرِّب **غرانيت الانصهار الجزئي granite d'anatexie** وتكون هذه الظاهرات، التي يمكن مقارنتها مع تلك التي توصف تحت إسم **الغرْنتة granitisation** من قبل المؤلفين القدامى، شائعة جداً في جميع أنحاء العالم. وقد دلَّ التحليل الجيولوجي الدقيق لغرانيت الإنصهار الجزئي هذا على أنه معاصر في أغلب الأحيان للحركات الأُوروجينية (صخور مغماتيت ملتوية، آرتيريت). ولهذا يطلقون عليه أيضاً لفظة **الغرانيت المواقت للتكتونية syntectoniques**. بينما يكون الغرانيت المؤلف من كتل محصورة، على العكس، **لاحقاً بالتكتونية**.

غير أن دراسات كلوس H.Cloos لشبكات شقوق هذه الكتل ودراسة البنى الموجَّهة (شيستوية، توزع الحشوات وتوجيه البلورات)، التي يمكن أن تظهر فيها قد تدل على أنه يتوجب علينا أن نتصور نهاية صعود المهل، أصل هذا الغرانيت، كما لو كان دفقاً لدناً للمادة المتصلبة سابقاً، مما يذكر بجريان الجليديات». (أ. راغان E.Raguin[1]). ويتكامل هذا الاستنباط في بعض حالات مميَّزة حيث يكون بالإمكان التأكد من السافات الرسوبية المغلفة على حافة هذه الكتل الدخيلة.

يبدو، من جميع ما ذكرناه، أن حدثاً قد نتج، وهو أن الغرانيت يجب أن ينجم عن تصلُّب مهل سيليكاتي كان مائعاً نسبياً، وتشرُّب، وهضم أو حوّل قسماً من الصخور، التي استقر فيها بنوع من «الأبجنة» الواسعة، والتي جلب لها، بلا ريب، أجساماً جديدة على شاكلة «يحمومات» (انظر سابقاً ص ١٠٧). وعندما يمكث الغرانيت في صخور رسوبية، بخاصة في حالة اللاكوليتات، فإن بداهة صعود وحقن

(١) E.Raguin، **مشكلة جيولوجية الغرانيت** (مجلة القضايا العلمية، لوفان، آيار ١٩٣٧)، ونطلع بخاصة، فيما يتعلق بقضية الغرانيت، على دراسة ريد H.H.Read المثيرة للغاية، **Meditation on granite (Proceed. Geol.Assoc.Vol. LIV,1943 et Vol,1944)**، والتي يبدو أن المؤلف يقرّ فيها بوجود مصدرين ممكنين للغرانيت: تصلب مهل سائل، وتحوّل بالحالة الصلبة.

(نتوءات) المهل تفرض نفسها. وفي حالة كون هذا الغرانيت على صلة مع صخور استحالية «متبلورة تورقية»، التي يبدو أنه يمـرّ إليها شيئاً فشيئاً بشكل غير محسوس (ميكاشيست، غنايس)؛ فإن الأمر يصبح أقل وضوحاً وهنا نصل إلى الفكرة التي تقول بأن الغرانيت ليس إلّا الحـدّ الأخير للاستحالة الإقليمية، التي تؤدي لتشكل الشيست البلوري اعتباراً من الصخور الرسوبية الموجودة من قبل مع جلب عناصر قلوية (K, Na) ونزوح عناصر حديدية ـــ مغنيزية (Fe, Mg) وانصهار كلي. وقد نشرت هذه النظرية، التي دافع عنها بنجاح ب. ترمييه P. Termier، من قبل فيرليه داوست Virlet d'Aoust في عام ١٨٤٧. ويبدو أنها تلاقي حالياً رواجاً كبيراً. وهكذا فإن المهلات الغرانيتية، بنظر إسكولا Eskola تعود إلى إعادة صهر جزئي للمناطق العميقة من المقعرات الجيولوجية (سيال)، وكذلك إلى إعادة انصهار اصطفائي لبعض فلزات (كوارتز، صفاح) من صخور أساسية (سيما؟) لم تتصـلّـب برمتها. ويفسر لنا هذا التعليل التجمع الثابت للصخور الإندفاعية، كالغرانيت، مع السلاسل الجبلية. وقد سبق لنا من جهة أخرى أن رأينا أعلاه الدور الهام، الذي يمكن أن يلعبه نشوء الجبال في تشكل المهلات العميقة.

*

وحسب رأي دالي Daly؛ فإن بعض الغرانيت يمكن أن يكون من أصل سيالي كلياً. (مثلاً: غرانيت فنلندا الآركي)، وغيره من أصل سيمي محض (غرانيت كامبري لنفس المناطق الفنلندية). وحتى أن كلوس H.Cloos وريتمان Rittmann، يقـدِّران أن غرانيت النوع الأول يعود إلى المهل الحمضي (سيالي أو ميغما). ولم يتكـوَّن إلّا في الأطوار الإحتدامية للسلاسل، التي تكون معـرَّضة للالتواء، بينما النوع الثاني قد اشتق من السيما، وهو مميَّـز للمناطق الثابتة أو التي تكون على وشك طي معتدل للقشرة. وهنا، ربما تكون ظاهرات انشطار ذري أو تخـفّـف فجائي للانضغاط قد أثارت تمييعاً محلياً.

ونضيف إلى أن المفهوم الكلاسيكي والمسـلَّـم به عموماً عن ميوعة المهل الغرانيتية قد نوقش مؤخراً من قبل بعض المؤلفين (ر. بيـرّان و م. روبو) الذين ترتكز

فكرتهم الأساسية على أن الغرانيت وجميع تظاهراته ما هي إلّا نتيجة تفاعلات بحالة الصلابة.

وهكذا فإن ويغمان يقرّ، بأن بعض كتل غرانيتية في فنلندا متأتية من إعادة تبلور وسط صلب دون إنصهار، لكن مع مجلوبات من محاليل مائية أو من محاليل في مذيبات الطور فوق الحرج.

أما بالنسبة لِـ بيرّان وروبو، فإن الانتشار لوحده هو الذي يتدخل فيما هو صلب؛ فيحصل والحالة هذه انتقال للعناصر في الكتلة الصلبة دون تدخل مائع ما.

وهكذا نصل إذاً إلى هذا المفهوم بأن أصل الغرانيت يصبح معقداً؛ فبعضه يتألف بلا منازع من مهل مائع أصلاً ثم تصلّب، وقسم آخر ينجم عن تحوّل رسوبات بالاستحالة المتزايدة، ولكن دون انصهار (ميغما)، وضمن شروط تكون بحد ذاتها متبدلة للغاية.

وإذا أضفت إلى ما تقدم، أن نظرية حديثة كلياً، تعود إلى شوبير G. Choubert[1] تتدخل لتفسير نشوء الغرانيت والغرنتة بشكل عام، عن تفاعلات نووية هائلة مسلسلة، اندلعت في غضون الاحتدامات التكتونية (نشوء تأسّلي نووي) فإننا نرى لزاماً علينا، الاعتراف بأن قضية الغرانيت ما زالت أبعد من أن تكون محلولة.

عمر صخور الغرانيت: معظمها قديم جداً، سابق لما قبل الكامبري وبخاصة غرانيت السطيحات القديمة (سويد، فنلندا)، غير أن كثيراً منه يعود للباليوزوني. ومنه ما هو ميزوزوني (جبال كورديللير الأمريكية) وحتى منه ما يعود للثالثي (Alpes du Trentin، كورسيكا؟).

ويكون جميع غرانيت فرنسا تقريباً (آرموريك، الكتلة المركزية، الألب، الفوج) من عمر هيرسيني. وهكذا فإن غرانيت فاللورسين، إلى القرب من شامونيكس، يستقر على شيست بلوري مسحوج وتحتوي الكونغلوميرا (الرصيص) الفحمية

(١) **أصل الغرانيت والفيزياء النووية** (مذكرات المصلحة الجيولوجية في المغرب، مجلد ٦، الرباط، ١٩٥٢).

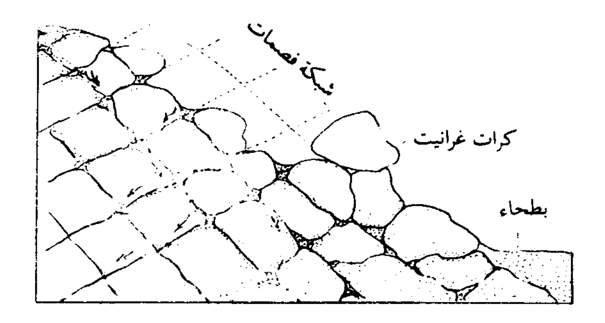
المتنضدّة فوقه على حصى منه. وهكذا يمكن الآن إدراك، من مبدأ القاعدة التي ستقودنا لتأريخ غرانيت والتي تقضي بتحديد تخمه الأدنى وحدّه الأعلى، عمر الصخر الرسوبي الأحدث، الذي حوَّله إلى صخر استحالي وعمر الصخر الذي نجده فيه على حالة حصباء.

تفسخ الغرانيت: ويكون هذا التفسخ شائعاً في المناطق الغربية من أوروبا، وبإمكانه أن يحصل بفعل أسباب متنوعة، التي تتضافر كلها على تهديم الصخر.

وأحياناً لا يكون الصفاح على الخصوص هو المصاب بالتفكك والصخر يتفتت بالتأثير الوحيد لعوامل فيزيائية (تحولات في الحرارة). غير أنه، على الأغلب، يفسد الصفاح، على العكس بتحلله في الماء Hydrolyse أو الحلمأة (انظر ص ٧٤) ويتفتت إلى مسحوق، مسهلاً بذلك هدم ما تبقى من اللحمة الغرانيتية، التي يصبح بالإمكان نزعها بحك بسيط أو بجريان المياه المطرية (شكل ٤٥) فتنجرف الجزيئات الغضارية الناجمة عن فساد الصفاح، بالمياه لتشكل في المنخفضات تجمعات من الكاعولين ورمل ميكاوي يتشكل محلياً ليؤلف **البطحاء arène** أو **غور gore** في الكتلة المركزية في وسط فرنسا. ويمكن للفساد على هذا النحو أن يظهر على عدة أمتار في العمق (٦٠ م في منطقة سيلا في كالابريا الإيطالية Sila de Calabre) ويتسارع بوجود شبكة من الفصمات Diaclases توجد تقريباً في جميع الغرانيت وتسهل تسرب الماء وتقسم هذه الشقوق بالواقع، الصخر إلى مواشير ضخمة، تتدوَّر زواياها تدريجياً، وتتحول في النهاية إلى جلاميد كروية هائلة تنفصل عن بعضها وتتكدس في مواقعها بشكل عشوائي. إنه الحت المؤدي إلى كرات مميَّزة إلى حد كبير، للمشاهد الغرانيتية (سيدوبر في مقاطعة تارن وكورسيكا (*) Sidobre du Tarn, Corse.

تلك هي صخور الغرانيت ذات الأورتوز والصخور الغرانوليتية على الأخص هي التي تصاب بهذا المرض، ولما كانت هذه الأخيرة محشوة غالباً بدخيلات من الركاز

(*) وبجوار مدينة الطائف ومدينة الرس في أواسط نجد في المملكة العربية السعودية.



شكل ٤٥ ــ **فساد الغرانيت**: عملية الفساد «إلى كرات». تدل الأسهم على اتجاه المياه الجوية في شبكة الفصمات: المنقط، غرانيت فاسد، وبطحاء؛ أي «رمل غرانيتي الأصل».

(كاسّيتيريت)، فإن هذه العناصر المحرّرة على هذا النحو، في موقعها، تصبح قابلة للاستثمار. ويطلق على لحقيات كهذه لفظة **الموضعيات** **éluvions** لمقابلتها باللحقيات الحقيقية، التي تنجم عن نقل.

ولا تحصل البطحاء إلّا على الغرانيت القديم للسلاسل المتأكلة، وهو الذي يتكشف على مساحات واسعة ضعيفة التمـوّج حيث تجد فيه المياه كل التسهيلات المؤدية لركودها ولاختراقها الصخر. أما في السلاسل الحديثة حيث يكون الغرانيت ملتوياً بشكل بلاطات منتصبة للغاية (مسلات القمة البيضاء) (شكل ٤٣)، فإن جريان المياه يكون سريعاً ويسيطر عندئذ الحت الميكانيكي.

ويكون هذا الفساد نامياً جداً أيضاً ويبدو سريعاً بخاصة في بعض المناطق حيث يتحد نظام أمطار غزيرة مع حالات قيظ كبيرة وتحولات شديدة في الحرارة (مناطق الموسميات)، في اليابان وفي كوريا، ومحلياً في الصين. وفي المناخات القاحلة للغاية، يسهل عمل فساد الغرانيت هذا بالغبار المالح، الذي يغطيه[1].

(١) ب. بيرو P.Birot، **تفتت الصخور البلورية بفعل الأملاح**: (تقرير أكاديمية العلوم. باريس مجلد ٢٣٧ ص١٧٣٩، ٢١ كانون الأول ١٩٥٣).

ب ــ نماذج حبيبية مجهرية (صخور العروق)

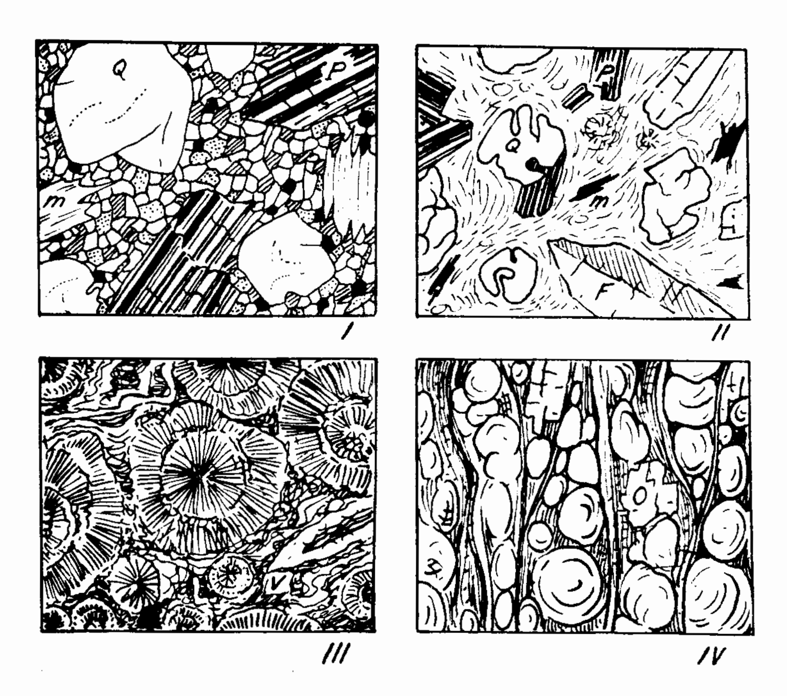
تكاد تكون كلها تقريباً صخوراً كلية التبلور ذات زمنين للتصلب. فالبلورات الظاهرة هي: الكوارتز والصفاح ويكونان مغلفين في عجين العناصر نفسها. وتوجد أيضاً عناصر حديدية ــ مغنيزية بشكل بلورات ضخمة في العجين. وعندما يكون العجين حبيبياً مجهرياً (أي ذا بنية حبيبية ناعمة، وأحياناً مجهرية)؛ فالصخر هو **ميكروغرانيت** (**غرانيت مجهري**) (شكل ٤٦، I)؛ وإذا كان نسيجه خطياً graphique فالصخر يصبح **ميكروبغماتيتاً**. وقد لوحظ وجود المرو الكروي في عجين بعض الميكروغرانيت. **فالألفان L'elvan** هو ميكروغرانيت ذو ميكا بيضاء خاص بالليموزان في أواسط فرنسا وبمكامن قصدير الكورنواي في بريطانيا. وأخيراً فإن لفظة **ميكروغرانوليت** تستعمل غالباً بالمعنى نفسه، الذي يستعمل فيه الميكروغرانيت. (شكل ٤٦).

وتكون أنواع الميكروغرانيت مستندة على طبيعة العنصر الحديدي ــ المغنيزي؛ فالأكثر أساسية هي التي تحتوي على أمفيبول وبيروكسين، والأقل أساسية هي الأنواع الميكاوية. يجب التنويه بأن بلورات المرو الظاهرة تكون أحياناً غليظة جداً ومتآكلة دائماً. وفضلاً عن ذلك فإن بلورات الميكروكلين الظاهرة تكون غالباً متحولة إلى ألبيت (مؤلبتة) في صخور ميكروغرانيت الكامبرية في وادي الموز Meuse.

والميكروغرانيت هو من صخور العروق، التي نصادفها على محيط كتل الغرانيت، حيث يحقن الصخور التي تحتضنه، غير أنه يتمكن أيضاً من أن يقطع ثانية الغرانيت ويظهر فيه مستقلاً. ونادراً ماتتفرد هذه الصخور على شاكلة لاكوليتات صغيرة أو كتل مثلما تظهر في روشسّون في الفوج (في شرقي فرنسا).

ويمكن إذاً في بعض الحالات اعتباره بمثابة انبثاقات لمهل غرانيتي، ويبدو في غيره، على العكس، كما لو كان متحدراً من يحمومات مختلفة.

وتكون هذه الصخور بخاصة باليوزوئية [1] وهي ليست نادرة في جميع جبال أوروبا الهيرسينية .



شكل ٤٦ ــ **صخور حبيبية مجهرية، ميكروليتية وزجاجية من عائلة الغرانيت** I ، ميكروغرانوليت : بلورات ظاهرة من المرو (الكوارتز) (a) ، بلاجيوكلاز (p) ، ميكابيوتيت (m) ، داخل عجين حبيبي مجهري مؤلف من نفس العناصر . II ، ريوليت : بَرَّزات ظاهرة من المرو (Q) ، صفاح أورتوز (F) وميكا (m) ، داخل عجين ميكروليتي زجاجي مع كتل كروية صغيرة. III ، بيروميريد : كتل كروية ضخمة ذات صليب أسود في عجين زجاجي مع أوبال وكالسيدوان سَيلاني (V.) . IV ، بشتاين لؤلؤي : شريط من زجاج لا بلوري «عديم الشكل» مع تشققات لؤلؤية وبعض بلورات من أورتوز زجاجي (حسب فيلان) .

جـ ــ نماذج ميكروليتية وزجاجية (صخور بركانية)

إن النماذج الميكروليتية هي البورفيرات ذات الكوارتز بالنسبة للمؤلفين القدامى ، وتدعى الآن **ريوليت** أو (**ليباريت**) (شكل ٤٦ ، II) . وتكون صخور الريوليت القديم ، ذات لون وردي عامة وتدين بهذا اللون إلى شذرات مجهرية من حديد

(١) حقب الحياة القديمة .

أوليجيست لا تحصى، والريوليت الحديث هو على الأغلب رمادي، أبيض وحتى أسود. إنه عبارة عن لابات: ويحوي عدد كبير منه على النسيج السَيلاني.

وتتألف البلورات الظاهرة من صفاح (سانيدين لدى الأشكال الحديثة) وعناصر ثنائية الهرم من المرو، الذي يكون دوماً تقريباً متآكلاً. وهنا أيضاً، يساعدنا العنصر الحديدي ــ المغنيزي على تعيين أنواع. والعجين زجاجي وغني بميكروليتات من الصفاح (غالباً من الأورتوز)، وبمرو كروي.

وهناك نوع يحتوي على كرويات صغيرة من ميكروليتات الأورتوز والمرو يحمل إسم **بورفير كروي** **Porphyre globulaire**؛ فإذا كانت هذه الكرويات ضخمة كثيراً يأخذ الصخر اسم **بيروميريد** **Pyroméride** وكان اسم **بورفير بتروسيليسي** يطلق فيما مضى على ريوليت ذي عجين ناعم، بدون مرو مرئي وذي مكسر متشظّي **Esquilleuse**. ويمكن اعتبار **الميكروفلسيت** (بتروسيلكس المؤلفين القدامى)، بمثابة خليط أوتكتي (Eutectique)[1] من المرو والصفاح. وأخيراً فإن **بورفيروئيد** الآردين هو ريوليت (أو ميكروغرانيت) نمت فيه الشيستوية ثانوياً من جراء تحوّل البلاجيوكلاز إلى سيريسيت، بينما بقي الأورتوز والمرو دون فساد وأعطيا للصخر مظهر البورفير (ج. دولّاباران J. de Lapparent). وفي اسكنديناقيا؛ فإن للصخر المسمى **هاليفلنتا** **(halleflinta)** بدون ريب أصلاً مماثلاً.

ومن الضروري أن نلحظ أن العجين الزجاجي (ميكروفلسيتي) لدى بعض الريوليت أصبح مبلوراً ومؤلفاً من خليط من المرو والصفاح ذي بنية حبيبية ناعمة، مع احتفاظه بالبنية السَيلانية. إن تحولاً كهذا يحمل اسم نزع الزجاجية أو تحول الريوليت إلى فلسيت.

هذا ويكون النسيج الزجاجي نامياً في **البشتاين**، وهو نوع من الزجاج ذي

---

(١) خليط أوتكتي = خليط لجسمين صلبين يحصل الانصهار فيه بدرجة حرارة ثابتة منخفضة.

المظهر الراتنجي، وبريقه دسم، ولونه صاف ويحوي أحياناً ١٠٪ من الماء وبعض بلورات من المرو بالإضافة إلى بلورات صغيرة وبرليت (حجر اللؤلؤ).

ويميز هذا النسيج **اللآلئ «برليت»**، **والأوبسيديان** (زجاج لا مائي)، **والخفان** التي تسمح بنياتها الإسفنجية والفقاعية بمقارنتها بالزبد (شكل ٤٦، IV).

وتظهر جميع هذه الصخور بحالة مسكوبات، وتكون مترافقة غالباً بمواد مقذوفة. لقد حصلت طوفانات حقيقية من الريوليت في غضون الكربوني والبرمي (بورفير نيديك في الفوج، بورفير الإستيريل الأحمر) وفي الثالثي، في أوروبا (ريوليت لوسكلاد في مون دور، تاتراس، مون أوغانيان، جزر ليباري... إلخ) كما وفي أمريكا. وفي هذه القارة الأخيرة يجب أن نذكر المسكوبة الهائلة ليللوستون الميوسينية البليوسينية، التي شغلت مساحة تقدر بعدة آلاف من الكيلو مترات المربعة بسماكة إجمالية ٦٠٠م. إننا لا نعلم حالياً بوجود نشاط لبراكين ليباريتية (نسبة لجزيرة ليباري في جنوبي إيطاليا).

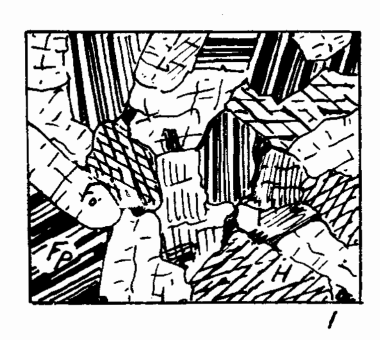
II ــ عائلة صخور السيينيت (الأسوانيّات)

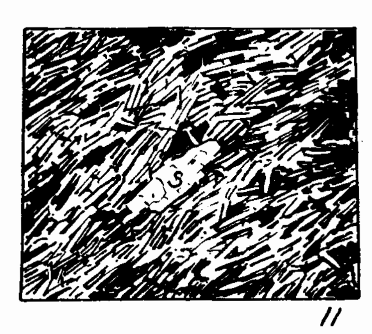
لا يوجد هنا مرو رئيسي وتنخفض نسبة السيليس فلا تتجاوز ٧٠٪. ويمكن أن يوجد، إضافة إلى الصفاح القلوي الرئيسي، الأورتوز، بلاجيوكلازات، هذا ولما كان في هذه العائلة نقص في السيليس، كان من الممكن أن تنفرد فيها كميات ضعيفة من الصفاح الحديث ويمر الصخر بهذا الواقع إلى صخور السيينيت النيفيلينية. وأخيراً فإن ظهور الكوارتز من شأنه أن يمكّن الانتقال إلى الغرانيت.

أ ــ نماذج حُبَيْبية (صخور الكتل)

وتتمثل **بالسيينيت**، وهي صخور مؤلفة من متجمّع كلّي التبلور من

صفاح وأمفيبول. ومنه جاء التعريف: السيينيت هو غرانيت ذو أمفيبول بدون مرو[1] (شكل ٤٧).





شكل ٤٧ ـــ **صخور من عائلة السيينيت**. I، سيينيت عادي: Fo، أورتوز، Fp، بلاجيوكلاز (أوليغوكلاز)، H، هورنبلاند. II، تراكيت: في الوسط، بلورة ظاهرة من السانيدين (s)، في عجين غني بميكروليتات من السانيدين بوضع سَيَلاني: بعض البلورات الصغيرة من الماغنيتيت.

إن تجمع الهورنبلاند والأورتوز مع قليل من الميكروكلين يعطينا **السيينيت الشائع**، أو **بلوينيت plauenite** (من بلاوِن في الساكس) (شكل ٤٧، I). وتلحق بهذا السيينيت العادي النماذج الميكاوية وهي التي، إذا ما شحنت بمرو، أمكنها أن تمر إلى الغرانيت. وتعطينا زيادة نسبة الصفاح الكلسي ـــ الصودي نماذج كلسية ـــ قلوية. وتكون جميع هذه الصخور على العموم مائلة للحمرة بسبب لون الأورتوز الوردي. وأخيراً فإن بعض أنواع السيينيت المسماة قلوية مُتَميّز بكثرة الصفاح القلوي (أورتوز، ألبيت)، الذي تضاف إليه أنواع صودية من الأمفيبول والبيروكسين (باركيفيسيت، ايجرين).

وهناك مثال جيد عن هذا الأخير، هو **اللورفيكيت**، وهو صخر جميل، من ضواحي كريستيانا (أوسلو)، ذو بلورات كبيرة من الأنورتوز، ذات انعكاسات

(١) لا يجب أن يلتبس صخر كهذا مع غرانيت أسوان (Syène) في مصر، الذي هو عبارة عن غرانيت ذي أمفيبول وبيوتيت.

لماعة، مع قليل من النيفيلين غالباً، مما يمكننا من المرور إلى السيينيت النيفيلينية التي سندرسها فيما بعد.

وعندما توازي كمية البلاجيوكلاز الكلسية ـ الصودية كمية الأورتوز، في سيينيت عادي، مع زيادة في البيروكسين، فإن الصخر يسمى **مونزونيت** (من مونزوني، في التيرول الإيطالي).

إنه صخر ألبي حديث، حَوَّل الكلس الدولوميتي العائد للترياس إلى صخور استحالية فأعطانا رخاماً ذا فلزات. ونعلم بوجود سيينيت أقدم في الألب، مرتبط بالزمرة الهيرسينية، ومن أجمله منظراً، هو سيينيت بحيرة لوفيتل (كتلة بلفو)، وهو صخر غني بالميكا والسفين ويعتبر وجوده هناك، بمثابة عارض في الكتلة الغرانيتية الضخمة.

ونورد على التوالي التراكيب الكيميائية لثلاثة نماذج من السيينيت (صخر أسوان): سيينيت عادي (بيل، بيمون)، مونزونيت التيرول، سيينيت قلوي (لورفيكيت النروج).

MnO	H_2O	P_2O_5	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	SiO_2
«	٠٫٣٨	٠٫٥٨	١٫٢٤	٦٫٦٨	٤٫١٦	١٫٨٣	٢٫٠٢	٦٫٧٧	١٧٫٩٢	٠٫٢٦	٥٩٫٣٧
٠٫٢٢	١٫١٧	٠٫٢٧	٣٫٨٢	٣٫٩٨	٧٫٨٢	٣٫٩٢	٥٫٦٣	٤٫٤٤	١٤٫٩٦	١٫١٠	٥٢٫٦٤
٠٫٢٢	١٫٠١	٠٫٥٤	٥٫٧٣	٤٫٥٠	٣٫٠٣	٠٫٧٩	٢٫٥٨	٣٫٦٣	٢٠٫٣٠	١٫١٠	٥٨٫٨٨

ومن النادر أن يؤلف السيينيت لوحده كتلاً منفصلة، إذ أنه على الأغلب يجتمع مع صخور أخرى. وهكذا نجد أن المونزونيت يرافق نماذج حمضية (مونزونيت كوارتزي) ونماذج أساسية (ديوريت وغابرو). وقد سبق أن ذكرنا أن سيينيت لوفيتل كان عارضاً في كتلة جبلية غرانيتية. ويشكل بعض السيينيت لاكوليتات حقيقية وبخاصة في أمريكا.

وتكون هذه الصخور، هي أقل انتشاراً من الغرانيت، ومع هذا؛ فإننا نصادفها في العالم كله: أوروبا، مدغسكر، افريقيا الوسطى، أمريكا الشمالية ... إلخ).

ويلحقون أيضاً بالسيينيت بعض الصخور العرقية وهي عبارة عن صخور سيينيت ميكاوية أو أمفيبولية [1].

تتمثل هذه الصخور **بالمينيت** والفوجيزيت، وهي صخور تنتمي إلى السيينيت العادية. **فالمينيت minettes**، مؤلفة من أورتوز وميكا بيوتيت غزير جداً، بالإضافة إلى ما يحسبونه من العناصر الملحقة: السفين والأباتيت. حتى أن بعض المينيت يحتوي على أوجيت وأوليفين، تكاد تكون فاسدة بصورة دائمة تقريباً. ومن هنا كان غنى الصخر بالكالسيت [2].

وتكون صخور الفوجيزيت مؤلفة بصورة رئيسة من أورتوز وأمفيبول مسيطر، مع قليل من بلورات أوجيت إبرية الشكل. وتكثر هذه الصخور في الجبال القديمة العائدة للفوج والمورفان.

وأخيراً؛ فإننا نعلم بوجود صخور سيينيتية في العروق يمكن موازنتها مع الأبليت.

ب ـ نماذج حبيبية مجهرية (صخور العروق)

إنها صخور ذات زمني تصلب تدعى **ميكروسيينيت**، حيث تذكرنا بنية نسيجها تماماً بالميكروغرانيت، وتتميَّز حسب طبيعة العنصر الأسود. إن **الرومبنبورفير rhombenporphyr** هو المعادل الحبيبي المجهري للورفيكيت. وهذه الصخور ليست واسعة الانتشار.

جـ ـ نماذج ميكروليتية وزجاجية (الصخور بركانية)

إنها على غاية من الأهمية، إذ أنها لعبت دوراً كبيراً خلال الإندفاعات

---

(١) غالباً ما يفصلونها بالواقع عن السيينيت لتؤلفا تحت إسم صخور **لامبروفيرية** (بوفيرية قاتمة لمّاعة)، وهي زمرة من صخور تنجم عن تجزئة خاصة للمهل العميق.

(٢) يتفكك هذا الصخر بالفساد ليعطي مسحوقاً ميكاوياً يستعمل من قبل عمال المناجم لحشو الثقوب في المناجم mines، ومن هنا جاءت تسميته مينيت.

البركانية، التي تعاقبت على سطح الأرض، بخاصة في العصر الثالثي. وهي تشمل التراكيت، الأورتوفير والتراكياندزيت.

فالتراكيت (شكل ٤٧، II) هو المعادل اللابي الحديث للسيينيت العادية أو البوتاسية (ثالثية). إنه صخر غليظ، خشن الملمس، ولونه رمادي أو أفتح، مؤلف من بلورات ظاهرة من السانيدين، مع بيوتيت، أوجيت، هورنبلاند، غارقة في عجين يحتوي على ميكروليتات متطاولة وفيرة من السانيدين. وتكون البنية غالباً سَيَلانية. ويوجد بالإضافة إلى ذلك، عدد كبير من الفلزات اللاحقة: أباتيت، ماغنيتيت، زركون، سفين وأحياناً صوداليت. تتميَّز الأنواع حسب طبيعة العناصر الحديدية ـــ المغنيزية، فضلاً عن الميكا السوداء. ويوجد نوع أبيض، قليل التماسك هو **الدوميت** **domite**، وهو صخر بوي دي دوم Puy -de- Dôme في الأوفيرني. هذا الدوميت يحوي ما فيه الكفاية من بلورات ظاهرة كبيرة من السانيدين، آنورتوز، عناصر سوداء، غير أنه غني بخاصة بنوع خاص من السيليس، هو التريديميت (حتى ٧٠٪).

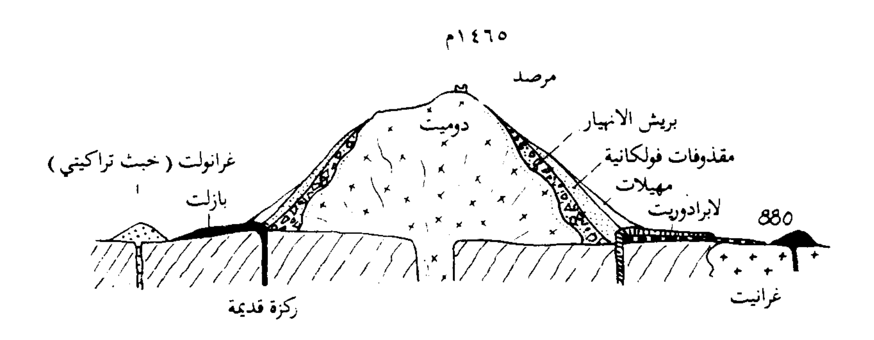
وتكون صخور **الأورتوفير** **orthophyres**، مميَّزة بميكروليتاتها المتطاولة من الأورتوز، وهي نفسها التراكيت القديم، وهو لفظ يجنح حالياً للرجحان. أما الألبيتوفير والتراكياندزيت فهما المعادلان اللابيان للسيينيت القلوي. **فالألبيتوفير** يتميز ببلوراته الظاهرة وميكروليتاته من الالبيت، **والتراكياندزيت**، الذي تتوزع فيه هذه العناصر بالتساوي بين السانيدين والأوليغوكلاز، وينتج عن المهل المونزونيتي. وهو أيضاً من الصخور الأفقر بالسيليس من التراكيت.

والنماذج الزجاجية من هذه الصخور هي الأوبسيديان التراكيتي الأساسي جداً وقاتم جداً، **والتراس** **trass**، وهي حاصلات المقذوفات الطفيَّة Tufeux، التي ترافق «في بعض الأحيان» المسكوبات.

وتشكل جميع هذه الصخور، من جهة أخرى جدّات قاطعة dykes أو مسكوبات مترافقة مع حاصلات القذف (جلاميد ملتحمة على شاكلة بريش) قنابل

بركانية على شاكة **قشرة الخبز croûte de pain**، حصيّـات ورماد)[1] في كل برهة من تاريخ الأرض.

وتحوي الأورتوفير على الفحم الحجري (الكتلة المركزية والفوج) ، ويؤلف أورتوفير منطقة الروس Rousses في جبال الألب الفرنسية مسكوبات متجمعة مع طف في الرصيصات العائدة للفحمي الأعلى. غير أننا نعلمه أيضاً بوجـوده في الديفـوني بإنكلترا. ولنذكر أيضاً تراكيت السنغال الكريتاسي وتراكيت الحقب الثالثـي في إيطاليا. ويشكل في الكتلة المركزية الدومات dômes (ميوسين ، بليوسين ، رابعي). وأجمله هو الذي يعود إلى بوي دي دوم[2] Puy -de- Dôme في الأوفرني (شكل ٤٨) ، الذي شيد في بداية الرابعي ويمكن ، حسب رأي لاكروا ، مقارنته بقبة بركان غواديلوب الحالي في البحر الكاريبي. لقد أدَّت هذه اللابات ، اللزجة للغاية ، إلى انفجارات عنيفة وهي المسؤولة عن شكل هذه البراكين الفريدة بنوعها. ففي البوي دي دوم ، نجد الدوميت ، الذي يؤلف الكتلة الرئيسة للجبل ، محاطاً ببريشات انهيارية حصلت أثناء الاندساس العنيف لكتلة عدسة اللابة.



شكل ٤٨ ــ **مقطع لبركان بيلي النمط وهو بركان بوي دو دوم** (ف. غلانجو)

(١) إن هذه الحاصلات التراكيتية الموجودة إلى القرب من نابولي معروفة باسم **بوزّولان** وتستعمل في صنع بعض أنواع الاسمنت.

(٢) أعلى نقطة في سلسلة البوي Puys في الكتلة المركزية.

III ــ عائلة الديوريت

الديوريت صخر قاتم اللون، ذو مظهر شبيه بالغرانيت أكثر أساسية بكثير من الصخور السابقة، ونسبة السيليس فيه لا تتجاوز مطلقاً ٦٠٪ ماعدا الأنواع، التي تحتوي على مرو.

أ ــ نماذج حبيبية

تتمثل بالديوريت، وهو صخر مؤلف بصورة رئيسة من تجمع كلي التبلور لصفاح كلسي ــ صودي (أوليغوكلاز أو أنديزين) ولعنصر أسود هو الهورنبلاند. نصادف فيه أيضاً ميكا سوداء، وحتى قليلاً من الكوارتز وفلزات ملحقة ثابتة تقريباً: إيلمينيت، ماغنيتيت، زركون، سفين، آباتيت (شكل ٤٩، I). وهذه هي على التوالي التراكيب الكيميائية لديوريت في جبل مون اسكتنه Mont Ascutney (فرمونت Vermont بالولايات المتحدة) وديوريت ميكاوي ويحتوي على مرو لبحيرة آفيو (تيرول).

H_2O	P_2O_5	TiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
١ر١٦	٠ر٦٤	١ر٥٤	٤ر٣١	٤ر١٤	٢ر٢٠	٤ر٣٣	٣ر٩٠	٢ر٢٣	١٧ر٢٨	٥٧ر٩٧
٠ر١٦	٠ر٦٤	١ر٥٤	٣ر٣٣	٠ر٨٦	٢ر٣٥	٣ر٧٣	٦ر٤٥	٢ر٢٣	١٥ر٢٠	٦٦ر٩١

أنواع الديوريت: وهنا أيضاً يمكن أن تتميَّز أنواع، حسب غلظ الحبة، غير أن أهمها هي الأنواع المصنفة حسب طبيعة العنصر الحديدي ــ المغنيزي. وهكذا فإن ديوريتاً مشحوناً بالميكا السوداء هو **كرسانيت**. غير أن الميكا يكون أحياناً غزيراً لدرجة يتمكن معها من إخفاء الصفاح. والصخر عندها يدعى بـ **لامبروفير** **Lamprophyre**[1]. ويجدر بنا ذكر **الديوريت ذو الأوجيت** أيضاً. فهو يحتوي على

(١) إننا نعلم أن هذه الصخور اللامبروفيرية (بسبب بريق سطوح انفصام الفلزات السود)، التي تدخل فيها المينيت، وتوصف أحياناً على حدة وتعتبر بمثابة تجزئة خاصة للمهل.

مرو. إن هذا العنصر الأخير هو ثابت وغزير في **الديوريت الكوارتــزي** أو **الغرانوديوريت granodiorite**، الذي هو عبارة عن تجمعات من بلاجيوكلاز، ومن هورنبلاند ومرو بحالة إسمنت شبيهة بغرانيت ذي أمفيبول[1].

وتحل الميكابيوتيت أحياناً محل الهورنبلاند. وهكذا يكون **توناليت** آداميللو (تيرول نوعاً حديثاً من ديوريت مروي غني بالبيوتيت، الذي يبدو كعارض على أطراف كتلة غرانيتية.

والديوريت الحَلَقي orbiculaire أو كورسيت، أو نابليونيت (كورسيكا) (شكل ٤٩، III)، هو نوع مرتكز على بنية العنصرين، آنورتيت وأمفيبول، اللذين تبلورا معاً على شاكلة كرات ليفية ـــ شعاعية. غير أن الأمفيبول يحصل هنا من تحول بيروكسين، ومن هنا جاء اسم **إبيديوريت Epidiorite**، الذي يطلق على مثل هذا النوع، الذي كان في البدء عبارة عن غابرو. ومن جهة أخرى يوجد هذا الصخر في كورسيكا كعارض جانبي لصخر شبيه بكل من الغرانيت والغابرو وذي هورنبلاند.

شرائط التكمُّن، عمر الديوريت ومنشؤه: يمكن للديوريت أن يشكل كتلاً صغيرة منعزلة، غير أنه في الغالب يجتمع كتلياً مع الغابرو أو الغرانيت ذي الأمفيبول، حيث يؤلف الأطراف. ويوجد غالباً أيضاً على شاكلة زمر أو حزم من العروق، أو العروق الطبقية، وهذه حالة الكرسانتيت.

وإذا كان الديوريت أقل انتشاراً من الغرانيت، غير أنه مع هذا شائع في أراضي الحقب الأول. وفي مناطق أوروبا الغربية، فإنه معروف في جميع الكتل الجبلية وبخاصة الهيرسينية.

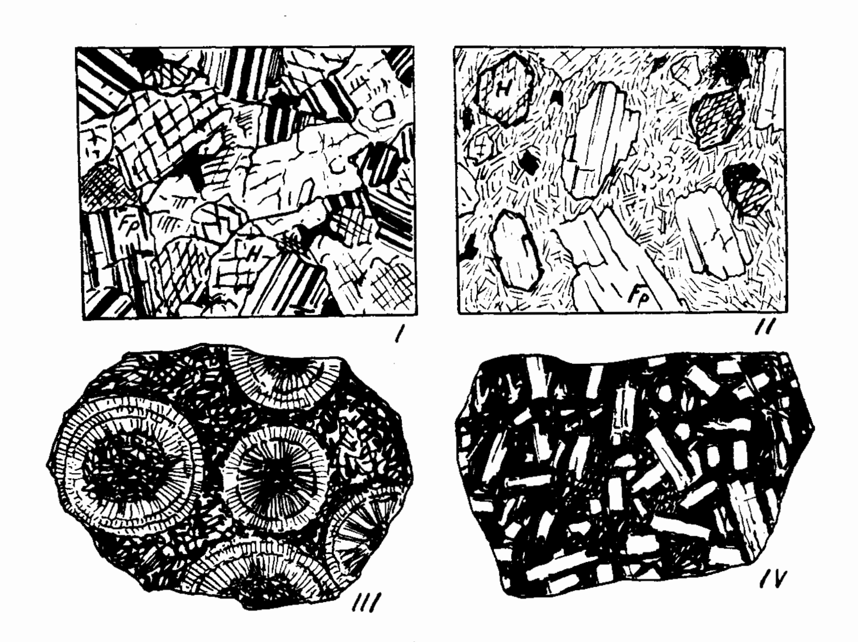
ويمكن أن يكون لكتل الديوريت الجبلية ثلاثة مصادر ممكنة: ١ً ـــ اندساس

---

(١) ولكن عندئذ لا يكون بالإمكان تمييز توأميات الأورتوز الكبيرة والبسيطة، بل التحززات العديدة الناجمة عن تجمع صفيحيات البلاجيوكلاز ذات الشكل الواحد.

كتل ديوريتية بالأصل لم يصبها تمايز ولا اختلاط . ٢ً ــ تمايز مهل بازلتي . ٣ً ــ تشكل الغرانيت داخلياً من جراء تمثل صخور كلسية (لاكروا) .

ويمكن لهذه الصخور أن يلحقها الفساد مثل الغرانيت .



شكل ٤٩ ــ **صخور من عائلة الديوريت** . I ، ديوريت انديزيتي : Fp ، بلاجيوكلاز ، يظهر بعضه توأمية حسب قوانين الألبيت والبيريكلين ؛ H ، هورنبلاند ، بالأسود وقد أملأ الفواصل مع حديد مؤكسَد قليلاً والسفين . II ، أنديزيت ذو أمفيبول هورنبلاند (H) ، بلّورات كبيرة من اللابرادور (Fp) ، عجين زجاجي مع ميكروليتات من أوليغوكلاز وبلورات (بالأسود) حديد قليل الأكسدة ومن تريديميت . III ، ديوريت حلَقي أو دائري (تكبير طبيعي) . IV ، انديزيت كامبري بجبل طبقال « الأقرع » (الأطلس الأعلى بالمغرب) ، ذو بلورات كبيرة من اللابرادور (تكبير طبيعي) .

ب ــ نماذج حبيبية مجهرية (صخور من العروق)

وتتمثل **بالميكروديوريت** ، وهو صخر ذو مرحلتين من التصلب . ويتألف من بلورات ظاهرة من لابرادور وهورنبلاند غاطسة في عجين حبيبي مجهري . إن هذا

الميكروديوريت شائع جداً في العصر الفحمي الأعلى للألب الفرنسية (بريانسّونيه) حيث يشكل عروقاً طبقية مخضرَّة اللون. وتكون نسبة السيليس فيه مرتفعة نوعاً ما (٥٢ ـــ ٦٢٪) ويوجد فيه غالباً أيضاً مرو غرانوليتي من المرحلة الثانية من التصلب. ومن المعروف تماماً وجود صخر مثله غني جداً بالمرو ويدعى ميكروديوريت مَرُوي، ونذكر منه **الاستريلليت** أو بورفير الرومان الأزرق، الذي يوجد على شكل لاكوليت صغير في أراضي البرمي. إنه صخر ذو لون رمادي مزرّق مع بلورات ظاهرة من الآنديزين، ومرو ثنائي الهرم، وبلورات صغيرة من الهورنبلاند. وهناك صخور مشابهة معروفة في بلجيكا، في أراضي البرابان القديمة، وفي الفوج، والبيرينيه، وولاية مونتانا في أمريكا حيث تشكل لاكوليتاً جميلاً.

جـ ـــ نماذج ميكروليتية وزجاجية (صخور بركانية)

هناك ما يدعو إلى التفريق، في هذه النماذج تحت البلورية، بين تلك التي تتطابق مع الديوريت الحقيقي وتلك التي تُنسب إلى الديوريت المروي؛ أي الحاوي على الكوارتز.

فالأولى هي **الآنديزيت** (شكل ٤٩، II و IV) **والبورفيريت** (آنديزيت قديمة).

فهي عبارة عن لابات ذات لون قاتم غالباً، وتتألف من بلاجيوكلاز (بخاصة آنديزين) وعناصر حديدية ـــ مغنيزية (أوجيت، بيوتيت، هورنبلاند أو هيبرستين) بشكل بلّورات ظاهرة، وغارقة في عجين زجاجي غني بميكروليتات متطاولة من صفاح كلسي ـــ صودي و بحبيبات من عناصر سوداء. وتكون البنية السَيَلانية هي القاعدة.

واستناداً إلى طبيعة بلورات العناصر السوداء الظاهرة، يميز بين آنديزيت ذي بيوتيت، ذي هورنبلاند، ذي أوجيت (صخور أساسية جداً نمرّ منها إلى لابات عائلة الغابرو) أو ذي هيبرستين، ذي لابرادور (فنمر بذلك إلى **اللابرادوريت**، وهي لابات

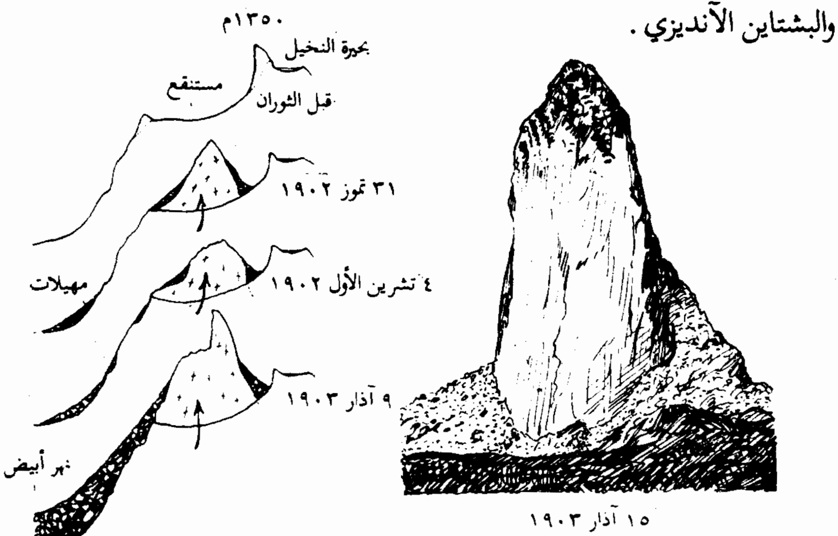
غابروية (شبيهة بالغابرو) ذات صفاح أساسي جداً ويصعب أحياناً تفريقها عن الآنديزيت الحقيقي).

ومظهر هذه الصخور خبثي على الأغلب أو تجويفي Vacuolaire وملمسها قاس خشن. ولا تظهر البلورات الظاهرة دائماً، غير أن التجاويف تُملأ أحياناً بكالسيت استعاضي.

ويحتوي آنديزيت الحقب الأول غالباً على بلورات ظاهرة ومن هنا جاءت تسميته بورفيريت: ويتمثل نوع منه **ببورفير مصر الأحمر القديم** ومكمنه الصحيح جبل الدخان بين النيل والبحر الأحمر.

ويكون المعادل اللابي للديوريت الكوارتزي هو الداسيت (من داسيا، ترانسلفانيا في رومانيا): وهو آنديزيت كوارتزي وميكاوي وشائع في سلاسل الآند وفي هنغاريا. وتشتمل أطراف عقب الاستريلليت في إقليم بروفانس، تحتوي دائماً على قليل من زجاج؛ فتصبح إذاً صخوراً من نموذج الداسيت.

ولقد أنتجت الداسيت أحياناً زجاجاً حقيقياً يتمثل بالأوبسيديان. والبشتاين الآنديزي.



شكل ٥٠ ــ ثوران جبل بيليه عام ١٩٠٢.
أطوار ارتفاع المسلة النهائية من الآنديزيت (آ. لاكروا)

المكمن والعمر : صخور الآنديزيت (بورفيريت) معروفة في ما قبل الكامبري (في جرسي Jersey[1])، الكامبري (أطلس مــرّاكش) (شكــل ٤٩ ، IV)، الكربونيفير (الكتلة المركزية، فوج). غير أن الإندفاعات الآنديزيتية، قد تضاعفت مراراً، بخاصة في الثالثي، واندفاعات الكانتال وفيلي Velay تدخل في عداد الأنواع التي درست جيداً. يجب أن نذكر في الرابعي الأدنى، سلسلة البوي Puys (لابة أو حجر فولفيك Volvic). إن أعداداً كبيرة من البراكين تبث حالياً أمثال هذه اللابات بخاصة في جزيرة سانتوران، وفي جزر الصوند (كراكاتوا) وخصوصاً في المارتينيك (جبل بيليه) المشهور بثوران عام ١٩٠٢ المحزن، الذي هدم مدينة سان ـــ بيير وأتى تقريباً على جميع سكانها.

وتؤلف هذه اللابات الانديزيتية سلسلة تشمل نماذج أساسية للغاية (هي الأكثر سواداً) ونماذج حمضية ذات لون أفتح، مع كل الألوان الوسيطة. فاللابات الأساسية، وهي الأكثر ميوعة، تعطي مسكوبة، بينما اللابات الحمضية، تكون قليلة القابلية للانصهار، فتسد المداخن البركانية معطية سدادات مهلية culot من لابات لزجة تتصلب بسرعة وتوقف نفث الغازات. فينجم عن ذلك انفجارات، تكون أحياناً عنيفة للغاية، مما يفسر خطورة الكوارث، التي تسببها هذه البراكين (براكين ركامية[٢] cumulo-volcans). إن الثوران المعروف جيداً، بفضل آ. لاكروا، هو اندفاع جبل بيليه، في المارتينيك، الذي حصل في عام ١٩٠٢ (شكل ٥٠). فاللابة، ذات حمضية عالية ولزجة (آنديزيت ذي هيبرستين)، سدَّت تماماً المدخنة، منذ بداية الاندفاع، فتشكلت سدّادة، كانت تُطرد تدريجياً من جرّاء ضغط الغازات، وأعطيت منذ ٣ تشرين الثاني، مسلة متذبذبة ورجراجة. وكانت سرعة الصعود ١٠ أمتار يومياً بشكل وسطي، وبلغت المسلة ذروتها القصوى (١٥٧٥) في ٢٤ تشرين الثاني. وكانت هذه الكتلة تتفتت بقدر ما كانت تتابع صعودها، لتشكل نوعاً من

---

(١) يتفكك البورفيريت في أغلب الأحيان على السطح (كاولان، كلوريت) فيعطي غضاراً مصفرّاً يحتوي على كرات من صخر فسد قليلاً أو لم يفسد بعد.

(٢) بركان ذو حمم حمضية تتصلب في فوهته (للمترجم).

البريشات الانهيارية. وفي برهة ما، بلغ ضغط الغازات حداً لم يلبث البركان معه أن تصدَّع بشكل شق طويل، انطلقت منه **سحب متوهجة nuées ardentes**، مؤلفة من أبخرة وأوحال ذات حرارة عالية، ما لبثت أن انبثَّت هنا بصورة مائلة وهي تكتسح المنحدرات. وتداعت بسرعة مخيفة نحو مدينة سان ــ بيير. فتهدمت المدينة وهلك سكانها البالغ عددهم ٢٨٠٠٠ في غضون بضع دقائق ودمِّر مساحة ٥٨ كم من الأراضي بكليتها. وكانت انفجارات تحصل في غضون ذلك، وتنثر كتلاً هائلة من الرماد والقنابل المتجزِّعة (شكل ٥١).



شكل ٥١ ــ **قبلة متجزِّعة** (بشكل قشر الخبز) من جبل بيليه.

إن هذا النموذج من الثوران كان بمثابة إشراقة نور حقيقية لتفسير بعض الهندسات الهيكلية البركانية المستحاثة، وبخاصة بوي دي دوم. فهناك بالواقع، تظهر عدسة هائلة من اللابة الحمضية، مندمجة ضمن بريشات مؤلفة من جلاميد من نفس الطبيعة ملتحمة باللابة. ومن المحتمل أنه في أثناء خروج السدادة اللابية من الدوميت وصعودها للهواء، انهارت جلاميد وتجمعت لتشكل فراشاً حول قاعدة السدادة موضوع البحث، التي حرّرها الحت فيما بعد، جزئياً من هذا الغلاف.

IV ــ عائلة الغابرو

سنجد هنا صخوراً أكثر أساسية من الديوريت وتضعف فيها نسبة السيليس أيضاً، إذ أن هذه النسبة لا تتجاوز إطلاقاً ٥٠٪ تقريباً.

أ ــ نماذج حبيبية

الغابرو عبارة عن مجموعة كلية التبلور من صفّاح كلسي ــ صودي أساسي، هو اللابرادور عموماً، مع بيروكسين أساسي أيضاً، ديالّاج أو أوجيت، ومع أوليفين أو بيوتيت أو بدونهما (شكل ٥٢ ، I) .

والعنصر الثابت والمميِّز للغابرو هو البيروكسين، ويكون النسيج دائماً حبيبياً . غليظاً تقريباً . وقد أطلقوا في السابق لفظة **دياباز** على صخر مؤلف من بلاجيوكلاز وبيروكسين أوجيت في حالة تجمع حبيبي، إن صخوراً كهذه هي غابرو ولفظة دياباز لا تظهر ثانية إلّا بشأن نماذج النسيج الأوفيتي .

وإننا نورد، على سبيل المثال، التحاليل الكيميائية المتتالية لغابرو الرادوتال (هارز)، وغابرو ذي أوليفين لبحيرة بيرك (مينّسوتا)، وغابرو ذي هيبرستين لِـ سان ــ بورتريو (Côtes -du- Nord) :

H_2O	P_2O_5	TiO_2	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
٠ر٥٢	٠ر٨١	»	٢ر٢٦	٠ر٢٨	٦ر٦٤	١٠ر٥٠	٠ر٠٥	٩ر٤٩	٥ر٨٨	١٥ر٩٠	٤٩ر١٤
١ر٣٨	٠ر٨١	١ر٨٠	٢ر٥٣	٠ر٥٣	٨ر٦٥	٨ر٩٦	٠ر٠٥	٨ر٨٤	٠ر٨٧	١٩ر٠٤	٤٧ر٧٠
٠ر٢	٠ر٨١	١ر٨٠	١ر٧	٠ر٧	١ر٣	١٠ر٥٠	٠ر٠٥	٦ر٧	٢ر٦	٢٥ر٥	٥٠ر٩

أنواع الغابرو : إن أكثرها شيوعاً، هي الأنواع ذوات الحبات الغليظة مع بلّورات غليظة من أوجيت محوَّلة إلى ديالّاج، ومن لابرادور مؤلفة قعراً أسود مخضراً تبرز فيه لطخ اللابرادور البيضاء. أما **الغابرو** ذو الأوليفين، فهو من عوارِض الغابرو النموذجي ذي بلاجيوكلاز وديالّاج، وهناك نوع آخر بدون بيروكسين (أوليفين وبلاجيوكلاز فقط) هو **التروكتوليت Troctolite** . ويطلق أيضاً على **الغابرو ذي الهيبرستين** أو الأنستاتيت اسم **نوريت norites**، ويوجد نوريت ذو أوليفين. وأخيراً فإنه يوجد أيضاً غابرو ميكابيوتيت .

أما **الأوفوتيد Euphotide**، فهو نوع مشهور في الألب (مون ــ جنيفر) وهو غابرو ذو عناصر كبيرة، حيث يشكل الديالّاج فيه بلّورات غليظة محززة بسطوح

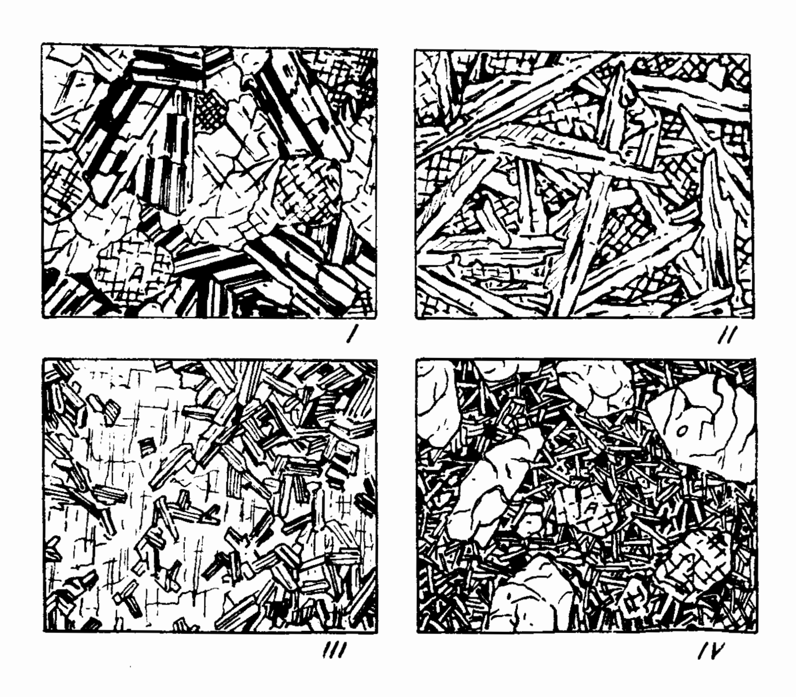
انفصام وذات مظهر برونزي. عندما يسيطر الصفاح بوضوح على العنصر الحديدي ــ المغنيزي؛ فالصخر يدعى عندها **بلاجيوكلازيت**، وهو صخر كثير الانتشار في أمريكا الشمالية.

وأخيراً يجب أن نذكر هنا سلسلة من الأنواع المعروفة بفساد بعض الفلزات الرئيسة للغابرو، وهي كثيرة الانتشار ويعبر عنها دائماً باللون الأخضر، الذي تلون به هذه الصخور. وهكذا فإن بعض الغابرو قد أصيب **بالأوراليتية ouralitisé**؛ أي أن البيروكسين الألوميني (هنا الديالّاج) قد تحول إلى أمفيبول أخضر (أوراليت، سماراغديت) أو أزرق (غلوكوفان) والصخر يصبح إيبيديوريت épidiorite. ويتحول الأوفوتيد غالباً على هذه الصورة. وكثيراً ما يؤدي فساد البيروكسين (أوجيت) إلى نشأة البيوتيت. ويطّرح الكلس أثناء هذه التحولات، وكذلك التيتان على حساب البيروكسين، إذ أن الأمفيبول هو فلز مغنيزي وفقير بالكلس. وعندئذ، يجعل تمازج التيتان والكلس المطّرح بالاستعاضة، مضافاً إلى مجلوبات سيليسية، الفرصة سانحة لتشكل السفين (سيليكو تيتانات الكلس).

وفي حالة التحوُّل إلى سوسيريت (**سوسيريتيزاسيون saussiritisation**)، يلحق الفساد بالبلاجيوكلاز؛ فيصبح لونه كامداً وقابلاً للتفتت. ويعطي ما كانوا يسمونه في الماضي سوسيريت، وهو فلز غير متفرِّد، ويقابل بالحقيقية خليطاً من زويسيت، البيت، أكتينوت، بجّادي.

وأخيراً فإن التحوّل إلى صخر الحية «**السربنتينزة**» **serpentinisation** هو طريقة شائعة جداً لفساد البيروكسين غير الألوميني (سيليكات مغنيزي لا مائي). وسنرى أن الأوليفين أيضاً بإمكانه أن يتحول إلى سربنتين أو صخر الحية. وقد حصلت جميع حادثات الفساد هذه في الأعماق ويجب ألّا نمزجها مع الفساد السطحي. وهي تؤدي إلى تشكل كتل غليظة من الصخور، ترتكز على فلزات سربنتينية (**أنتيغوريتات**

Les antigorites عند س. كايير S. Caillère) والتي نستطيع تمييزها أيضاً تحت اسم سربنتينيت **serpentinites**).



شكل ٥٢ ــ **صخور من عائلة الغابرو** . I ، غابرو : بلاجيوكلاز ، لابرادور وأوجيت (A) . II ، دياباز أوفيتي : بلورات من بلاجيوكلاز (آنديزين) مقـوْلب بالأوجيت (داخل الـزَرَدات) . III ، أوفيت : ميكروليتات غليظة من لابرادور في بيروكسين . IV ، بازلت : بلورات بيريدو (o) ، أوجيت (A) ، في عجين زجاجي مع ميكروليتات عديدة من لابرادور وأوجيت .

شرائط تكمُّن الغابرو وعمره: يؤلف الغابرو غالباً ، كتلاً وسطِ أراضي متنوعة ، رسوبية أو استحالية ، إما لوحده أو مجتمعاً ، وهو الأغلب ، مع صخور أخرى أساسية : ديوريت أو بيريدوتيت (بخاصة في الأورال) . والمقصود هنا عبارة عن حادثات لها منشأ مزدوج ، تمايز مهلي ، أو هضم الأراضي المغلِّفة . ونذكر ، من بين الغابرو

الباليوزوئي (الحقب الأولي)، غابرو وادي راندو، وفي السفح الجنوبي للغابة السوداء، الساكس، النمسا، اسكندينافيا (نوريت النروج)... إلخ. ويجب الإشارة إلى العروق الطبقية والجدّات، التي هي أيضاً طرائق تكمُّن للغابرو. ويوجد في الألب، غابرو معاصر للتكتونية ويعود إلى الميزوزوي (الحقب الثانيـي) أو الحقب الثالثي. ويكون الغابرو مُتداخلاً في الشيست اللامع وقد لحق به الطي معه (**بلاكوليت**)، غير أن الفساد غالباً ما حوَّله إلى سربنتين أو صخر الحية مع نضوحات من الأميانت على سطحه، ومن هنا جاءت تسمية **الصخور الخضراء**، التي أطلقها عليه جيولوجيو الألب، أو يصاب بالترقيق كلياً (**برازينيت**)[1]. وتتميز كومات الصخور الخضراء، بعد أن تحررت من كتلة الشيست، بالحت، في أوروبا الوسطى، ذات الأشكال الرخوة، بإهرامات رائعة (مون ــ فيزو، بيك ريغو في مورين «الألب»).

ب ــ نماذج حبيبية مجهرية (صخور عرقية)

هذه النماذج هي **الميكروغابرو**، وهو صخر عرقي متميِّز بالنسيج المجهري الحبيبي أو البنية المتشابكة[2] intersertale، الناعمة، ويكثر في الحقب الأولي.

جـ ــ نماذج أوفيتية

وتتميَّز هذه النماذج بالبنية الأوفيتية، التي تكون فيها ميكروليتات الصفاح الضخمة، كما نعلم، مندمجة في بلّورات البيروكسين، وفي هذا إشارة إلى انقلاب واضح في ترتيب التبلور العادي لفلزات الصخر الرئيسة **والدوليريت** و **الدياباز الأوفيتي**

---

(١) هي **أوفيتوليت** بالنسبة للجيولوجيين الناطقين بالألمانية. وتتغيَّر الفلزات البدائية، في البرازينيت الألبية كي تحل محلّها عناصر مستجدة: ألبيت، إيبيدوت، كلوريت. فقد تلاشى الصفاح الأولي برمته وأصبح الصخر أخضر اللون. وهذا مردُّه إلى كون الاستحالة العامة الألبية قد تنضدّت هنا على الاستحالة القديمة، مما أدَّى إلى ما أمكن تسميته **استحالة تراجعية أو ارتدادية rétromorphose**.

(٢) تؤلف هذه البنية من لويحات متشابكة من الصفاح أملئت الفراغات فيها من بلورات أو زجاج (للمترجم).

(شكل ٥٢ ، II)، هو صخر كلي التبلور، تأخذ فيه العناصر هذه الوضعية، مع حبة حبيبية تقريباً، واحتمال تفرد المادة الزجاجية بينها. ونمرّ عن طريق نماذج كهذه إلى صخور جزئية التبلور. أما **الأوفيت ophites** (شكل ٥٢ ، III)، فهو دياباز أوفيتي خاص بالأراضي الترياسية في البيرينيه، اسبانيا وافريقيا الشمالية. وقد صدرت لفظة بنية أوفيتية من هذا الصخر، الذي غالباً مايفسد، من جهة أخرى، إلى سربنتين، كلوريت، إيبيدوت، كالسيت. ويلوَّن عندئذ بلون أخضر جميل. إن قضية منشأ الأوفيت وكذلك وضعه في مكمنه لم تحل تماماً بعد.

وهناك نوع من دياباز أوفيتي ذي بنية حلَقية أو دائرية هو **الفاريوليت Variolite**، الذي يظهر كعارض لكتلة غابرو مون ـــ جنيفر (شكل ٥٣ ، II). والصخر هو أخضر اللون مع عدة دمامل بيضاء غليظة، ملتصقة ببعضها أحياناً وناجمة عن تركيز ميكروليتات من الصفاح (عموماً ألبيت) بأوضاع ليفية ـــ شعاعية. وتقوم حبات صغيرة من البيروكسين بسد الفراغات. ويكتسب فاريوليت الدورنس Durance هذا شهرته، لأنه يميِّز جميع اللحقيات القديمة والحديثة من وادي الدورنس حتى البحر المتوسط. ويوجد أيضاً على شكل حصباء في الرصيصات الميوسينية لسلاسل مشارف الألب، لنهر الايزر Isère، مبرهناً بهذا على أن مكامنه كانت مكشوفة من قبل وقد تمكنت السيول من نقله، وهو بحالة حصى مدحرجة حتى بحر المولاس.

وتشكِّل هذه الصخور كتلاً غليظة اندساسية، عروقاً ومسكوبات وتكون مترافقة أحياناً بطف من المقذوفات (مثلاً: بركان مينيز ـــ هوم Menez-Hom السيللوري في بريتانيا، درس من قبل بارّوا). وكان الدياباز الأوفيتي الباليوزوئي (دوليريت) معروفاً في الفوج، انكلترا، الهارتز، وفي خانق كولورادو، حيث يشكل عروقاً طبقية أو مستعرضات. وتكون لابات بعض البراكين الترياسية أو اللياسية، للأطلس الأعلى المرّاكشي أو لبراكين إيسلندا، عبارة عن دياباز أوفيتي.

د ــ نماذج ميكروليتية وزجاجية

تُذكِّر المهل المكونة لهذه الصخور بمهل الديوريت، وهكذا يصعب أيضاً، في بعض الأحيان، فصلها عن اللابات الديوريتية، التي لا تختلف عنها إلّا بطبيعة الصفاح، الذي يكون هنا دائماً على شاكلة ميكروليتات يصعب تمييزها بالمجهر. ولذلك نرى بعض المؤلفين يصفون، جملة لابات العائلتين، ديوريت وغابرو[1].

وتوجد هنا أيضاً، سلسلة كاملة من النماذج تبدأ بالنماذج الحمضية، لتصل إلى نماذج شديدة الأساسية وهي الأكثر دكنة من حيث اللون. وتؤلف هذه السلسلة من لابرادوريت ومن بازلت.

فاللابرادوريت تعرَّف بوجود البلاجيوكلاز لابرادور وتذكّرنا بالآنديزيت ذي اللابرادور. وهناك نوع بورفيري ذو بلورات كبيرة من اللابرادور هو **البورفير الأخضر القديم** من لاكونيا (الموره Morée في جنوب اليونان).

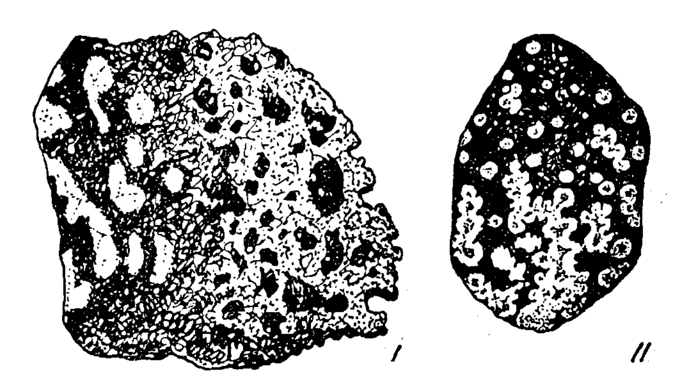
ويصبح اللابرادوريت، الذي يحمّل بالأوليفين **بازلتاً basalte** (شكل ٥٢، IV) وهناك صخور شائعة للغاية ومتنوعة جداً وهي التي يجب أن نشدد عليها. ويمكن تعريف بازلت ما بأنه صخر ثقيل، أسود، تؤلف العناصر الرئيسة فيه من الصفاح الكلسي ــ الصودي. الأوجيت، الأوليفين، (غالباً ما يكون العنصران الأخيرانِ ظاهران)، بالإضافة إلى عدة فلزات لاحقة منها الماغنيتيت والإلمينيت.

ويكاد يكون الصفاح دائماً تقريباً بحالة ميكروليتات في العجين، الذي يكون زجاجياً على الأغلب، ومع هذا، فإننا نجد، في نوع البازلت المسمى **نصف حزني demi.deuil**، بلّورات كبيرة بيضاء من هذا الفلز تتضّح على القاع الأسود للصخر. وتشكل ميكروليتات الصفاح أحياناً تبطيناً حقيقياً في العجين، الذي يصبح عندها خالياً تقريباً من الزجاج. أما إذا كان الصخر، على العكس، فقيراً بالصفاح، فنكون أمام ما يسمى **بازلت لمبرجيتي Lemburgitique** ويصبح بالإمكان المرور إلى

(١) يمكن أن نذكر براكين حالية مثل إتنا التي تلفظ على التعاقب لابرادوريت وبازلت.

اللمبرجيت الحقيقي، الخالي من الصفاح ويدخل في زمرة البريدوتيت. ويُميّز، من جهة أخرى أنواع من البازلت حسب طبيعة هذا الصفاح: بازلت آنديزيتي، لابرادوري، آنورتيتي، دوليري. وهناك أنواع أخرى غنية ببلورات ظاهرة من الأوجيت والأوليفين.

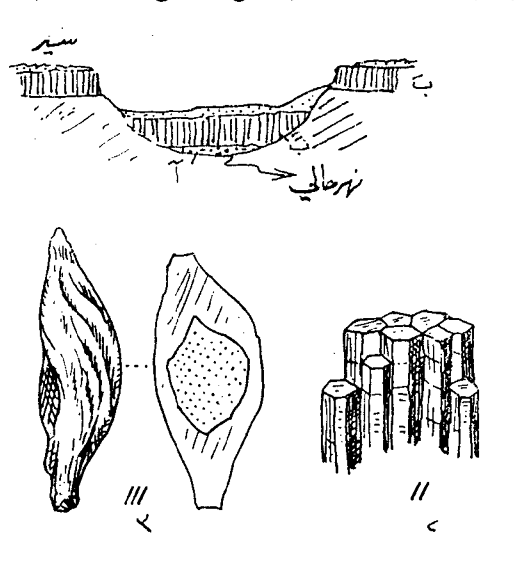
وتطلق أحياناً أيضاً لفظة **ميلافير mélaphyre** على البازلت القديم للحقب الأولي. ويمثل صخوراً تكون، من جهة أخرى، فاسدة دائماً تقريباً (تحولات الأوجيت إلى كلوريت وأوراليت، والأوليفين إلى سربنتين). **وسبيليت نهر الدراك** (شكل ٥٣، I)، هو نوع من بازلت شائع في الألب الفرنسية، حيث يظهر متداخلاً بين الطبقات في ذروة الترياس، وحتى أحياناً في أسفل اللياس. هذا الصخر يميِّز جميع لحقيات حوض الدراك حيث يصادف فيه بحالة حصباء.



شكل ٥٣ ــ فاريوليت دراك (سبيليت) (I)، وفاريوليت دورنس (II)
(حصباء مولاس في ضواحي غرينوبل)

وهنا أيضاً، لحق بالصخر أكبر قسط من الفساد وأصبح مشوَّهاً؛ فاللابرادور أصبح ألبيتاً مع خسارة الكلس، والأوليفين تحوَّل إلى سربنتين، طلق وكلوريت، والأوجيت إلى كلوريت؛ فالكلس المطَّرح بالاستعاضة بتأثير المياه المكربنة يتوضع على شاكلة كالسيت في تجاويف الصخر. وهذا الأخير يأخذ مظهر فاريوليت ضارب إلى الحمرة، ومنقط بحبات بازلّائية بيضاء، ومن هنا جاءت تسميته بـ **فاريوليت الدراك**، الذي يطلقونه أيضاً على هذا السبيليت.

وتكون صخور المسكوبات هذه مصحوبة غالباً بخبث، لوبيات، رماد، قنابل بازلتية وتراشيليت أو خفان خيطاني (شعر بيليه لبراكين جزر هاوائي الحالية). تكون القنابل البركانية على شاكلة مغزل ملوْلب، تحتل مركزه نواة من بلورات البيريدو، انتزعت من مناطق المدخنة البركانية العميقة، وتعتبر شاهدة بأشكالها على الحركة الدورانية، التي كانت ناشطة في الكتلة اللدنة الأصلية (شكل ٥٤، III) وتتنافر مع القنابل الآنديزيتية الحمضية، المزوّاة والمتجزّعة المظهر (قنابل بشكل قشر الخبز)[1].

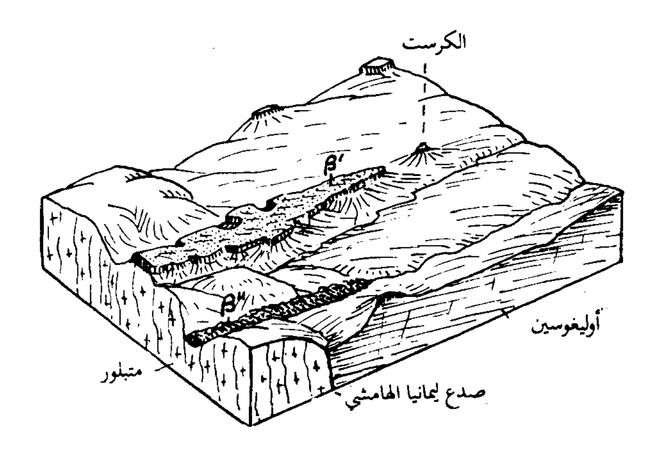


شكل ٥٤ ــ بازلت. I، مقطع بياني لواد في الكتلة المركزية يبين بازلت الهضاب (B) وبازلت الأودية (B'). II، مواشير من البازلت. III، قنبلة بازلتية مغزلية ملولبة؛ إلى اليمين، قنبلة مكسورة تظهر نواتها من البريدوت.

شرائط تكمُّن البازلت: يبدو البازلت بحالة عروق، جدّات، مسكوبات، متنوعة المظهر. وتحمل دائماً آثار الميوعة الكبيرة للابة الأصلية. وقد يكون سطح المسكوبة سويّاً، وخبثياً، أو ملتوياً على شكل موجات (لابات حبلية **cordées**) أو متقطعة إلى صفائح معادٌ تلاحمها. ويدعى سطح مسكوبة يبدي هذا المظهر المشوش والقاحل **شير Cheire** في الأوفرني **وسيارّي Sciarri** في منطقة إتنا. أما المصاطب البازلتية و **التراب trapps**، **فهي** مسكوبات بازلتية متنضّدة كدرجات سلّم. تأخذ

(١) هذه الأخيرة هي حقيقة قنابل، إذ أنها انفجرت (تشققات) بتأثير ضغط الغازات المحتبسة في برهة القذف الذي أعقبه تصلّب سريع للّابة. وليس الأمر على ذلك فيما يتعلق بالقنابل البازلتية التي طردت غازاتها بسرعة وبقيت رخوة لفترة طويلة.

الصبات البازلتية على الأغلب شكـلاً **موشورياً** (شكـل ٥٤، II). ولهذه المواشير دائماً، أوضاع عمودية على سطح المسكوبة، تكون ضخمة أحياناً، (أراغن وجادات العمالقة). إنها ليست شقوق تراجع بسيطة، بل يبدو أنها ناجمة عن تيارات الحملان courants de convection، التي خـضّـت الكتلة اللابية أثناء تصـلّبها [1]. إن قسم المسكوبة هذا المقتطع إلى مواشير يظهر دائماً تحت نطاق من بازلت خبثي يغطي هو نفسه طبقة من بازلت متراص، أمـا **بيبريت Pépérites** الليمـاني Limagne، فهـي حقنات بازلتية غريبة في شقوق الكلس الأوليغوسيني وتجـزّعاته، ويعتبرونها بمثابة بركان مجهض. **ومآرا إيفل maare**، هي أيضاً براكين بازلتية مجهضة، وسّـعت مدخنتها من جراء انفجار أدّى إلى إيجاد حفرة تـحتلها الآن بحيرة.



شكل ٥٥ ـ بازلت الهضاب (β') وبازلت الأودية (β'').
جبل السير، حافة ليمان Limagne الغربية (جنوب كليرمون) (عن دو مارتون).

وتوجد براكين عديدة بازلتية في الطبيعة الحالية: وهي متميـِّـزة دائماً بمخاريطها العريضة جداً والمنخفضة الوسط، وهذا لا يمنع من أن تكون على ارتفـاع كبير.

---

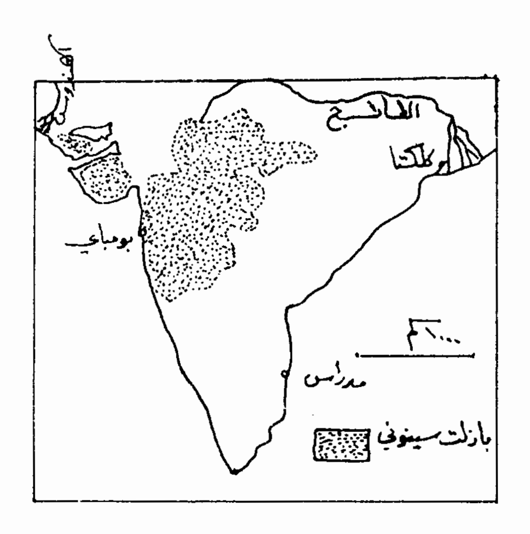
(١) ويظهر دراسات ج. بيترلونغو، الحديثة، والمبنية على الطرائق الاحصائية لِـ برونو ساندر، أن اتجاه الميكروليتات لا علاقة له بتيارات كهذه. اللّهم إلّا إذا كانت هذه الميكروليتات لم تتشكل إلّا بعد تدخُـل هذه التيارات. انظر ل. موريه، ظاهرة هامة: **تيارات الحملان، دورها في الجيولوجيا**. (حوليات معهد البوليتكنيك. الجزء H رقم ٢، غرينوبل ١٩٥٣).

وهكذا، نجد بركان المونا لوآ (Mona Loa) في جزر هاواي، يشيد بحيرته من البازلت المتوهج على ارتفاع يقرب من ٤٠٠٠م. وقد سبق وقلنا أن اندفاعات هذه البراكين من النموذج الهاواني لا تظهر تقريباً أبداً، بسبب ميوعة لاباتها البازلتية الكبيرة، صفة النشاط المحتدم الأعظمي والكارثي، التي تتجلى في بقية نماذج البراكين. فبحيرة اللابة تطفح، فتضاف مسكوبة جديدة إلى سابقاتها وتذهب إلى مسافة متفاوتة حسب حجمها، ثم تتوقف الأزمة. فمسكوبة من مونا لوآ، بلغت في عام ١٨٥٩، الرقم القياسي ٥٣ كم طولاً ومن جهة أخرى، فإن هذه الصبات تتقدم بسرعة كبيرة أحياناً بحدود ١١ كم في الساعة، كمعدل وسطي يذكر بالنسبة لمونا لوآ. وتعتبر ميوعة هذه اللابات الكبيرة ناجمة عن نوع من حادث فرط الميوعة surfusion تحت درجة الانصهار، الذي يعود هو نفسه إلى وجود أملاح قلوية في المهل مع غازات وبخار الماء. وترشدنا الناقلية الحرارية لهذه اللابات، للسبب، الذي من أجله، تتمكن من البقاء بحالة لزجة لزمن طويل، وهذا ما يحصل حتى إذا كانت تحت سماكة ضعيفة من الخبث، الذي نتمكن من السير عليه بدون خطر.

عمر الإندفاعات البركانية: نعلم بوجود اندفاعات من هذه الطبيعة (ميلافير)، منذ ما قبل الكامبري «القبكامبري» (أمريكا الشمالية وانكلترا)، ثم في الكربوني والبرمو ــ ترياسي. وهي شائعة في غضون الكريتاسي والترياسي. وهكذا نرى أن غشاء الدكّن البازلتي الكبير في الهند (شكل ٥٦)، يغطي أكثر من ٣٠٠٠٠٠ كم٢ ويقدّر حجمه بأكثر من مليون كيلو متر مكعب[1]. لقد شهد الإيوسين الأوسط وكذلك الأوليغوسين اندفاعات فيسنتان Vicentin البازلتية. وخلال الميوسين والبليوسين والرابعي، كان لها السيطرة في الكتلة المركزية الفرنسية؛ فهناك، يميزون أيضاً البازلت، الذي يقولون عنه بازلت الهضاب ويعود إلى البليوسين الأعلى وبازلت الأودية، الذي هو رابعي وقد تدفق بعد حفر الأودية (شكل ٥٤، I و شكل ٥٥).

---

(١) يقرّون حالياً أن هذه التدفقات الهائلة هي على الأغلب من منشأ شقّي أو طفحي مثل تدفقات الأطلس الأعلى المراكشي الترياسية ــ اللياسية.



شكل ٥٦ ــ امتداد الأغشية البازلتية (تراب trapps) الكريتاسية في هضبة الدكّن (الهند).

تفسخ البازلت: قد يكون الفساد سطحياً ويؤدي إلى احمرار بسيط، غير أنه قد يكون أكثر عمقاً وأشد تقدماً (wackes basaltiques)، مما يؤدي إلى نشوء سيليكات مائية كلسية أو قلوية (زيوليت)، أو حتى كالسيت أيضاً، على حساب الفلزات المؤلفة للصخر وتملئ فجوات الصخر. ولقد بحثنا أعلاه سابقاً في فساد البازلت القديم (سبيليت الدراك)، وسنرى فيما بعد، أنه في البلاد المدارية، يمكن أن يصل التفسخ إلى تشكل ماءات الألومين (لاتيريت وبوكسيت).

V ــ عائلة السيينيت النيفيلينية

تتميز الصخور السيينيتية بالوجود الثابت للصفاح (الفلدسبات) الحديث.

أ ــ نماذج حبيبية

تلك هي **السيينيت النيفيلينة** بالمعنى الصحيح، وهي صخور يقال لها أيضاً

سيينيت إيليوليتية éléolitiques (الايليوليت هو نوع وردي أو أزرق ذو مظهر زيتي للنيفيلين) أو زركونية نظراً لوجود الزركون فيها بحالة عنصر ملحق.

وتتألف بصورة رئيسة من صفاح قلوي (أورتوز وأنواعه، آلبيت). ومن أحد أنواع الصفاح الحديث (نيفيلين، لوسيت، إيليوليت)، متجمعة حسب الشكل الحبيبي مع عناصر حديدية ـــ مغنيزية (إيجرين، باركيفيسيت، آرفيدسونيت، ليبيدوميلان) تساعد على تمييز الصخر.

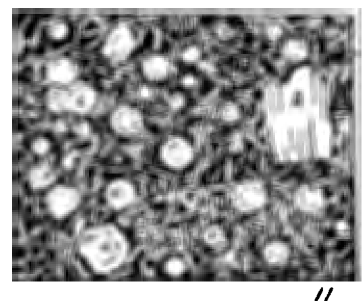
وتعتبر هذه الصخور هامة نظراً لغزارة سيليكات المعادن النادرة، التي تُصادف فيها أحياناً، وبخاصة في مكامن النروج. ويحصون منها نحو الخمسين عدداً، يدخل فيها الزركونيوم والسيزيوم والثوريوم. وهناك بعض **السيينيت ذي الأيجرين** في جزر لوس Los (شواطئ غينيا) وتحتوي على فلزات غريبة كالفيلليوميت، فليورور الصوديوم الوردي، الذواب في الماء الغالي. والنماذج الميكاوية (ليبيدوميلان) هي **المياسيت** (أورال)، والنماذج البيروكسينية هي **الفويّائيت** foyaites (البرتغال)، وأخيراً فإننا نعلم بوجود أنواع ذات أمفيبول قلوي (باركيفيسيت، آرفيدسونيت)، ويمكن لبعض الأنواع الأخيرة هذه أن تشحن بالصفاح الكلسي ـــ الصودي وتأخذ سحنة مونزونيتياً، وإذا شحنت بالبيروكسين؛ فإنها تأخذ سحنة اسّكستيكياً.

ونورد فيما يلي التحليل الكيميائي لسيينيتين نيفيلينين مبتدئين بفويّائيت البرتغال، ثم بنموذج من ديترو في ترانسيلفانيا:

Cl	H_2O	P_2O_5	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	SiO_2
آثار	٢ر٢٧	آثار	٨ر٥٨	٧ر٠٧	٠ر٥٦	١ر٩٠	٠ر١٩	٢ر٧٤	٠ر٧٨	٢١ر٨٢	١ر٠٣	٥٣ر٧١
آثار	١ر٥٨	آثار	٩ر٢٨	٦ر٧٩	٠ر١٣	٠ر٦٩	٠ر١٩	٢ر٧٤	١ر٩٩	٢٤ر١٤	١ر٠٣	٥٦ر٣٠

وتؤلف هذه الصخور مكامن صغيرة في وسط أراضي متنوعة، رسوبية أو استحالية، ونادراً ما تكون فيها لوحدها، إذ أنها غالباً ما تجتمع معها سيينيت قلوية، تيراليت أو إيجوليت. وهي تتكشف في البيرينيه، البرتغال (فويا)، في النروج، في الأورال (مياسك)، في مدغسكر، في البرازيل، في كندا ... إلخ.

وتكون هذه الصخور أحياناً غنية بالكالسيت الأولي (**كاربوناتيت**) . وعندما يلحق بها فساد سطحي ، في المناطق المدارية ؛ فإنها تعطي اللاتيريت ، ولكن إذا كان الفساد أشد عمقاً ؛ فإن نقطة انطلاقه تكون في الصفاح الحديث غالباً .





شكل ٥٧ ــ **فونوليت وليكوتيفريت** . I ، فونوليت لوسيتي : H ، هوين ؛ A ، أوجيت إيجريني ؛ L ، لوسيت . II ، ليكوتيفريت (فيزوف) ؛ A ، أوجيت ؛ L ، بلورات مكوَّرة من اللوسيت مع دخيلات عجين مع ميكروليتات من لابرادور ، أوجيت وحديد قليل الأكسدة (بروتوكسيد) .

ب ــ نماذج حبيبية مجهرية

هذه النماذج هي صخور عرقية **كالتنغائيت Tingaïtes** ، وهو نوع من الابليت الغني بالايجرين ، الذي يجدونه في مدغسكر والبرازيل (بيك دي طنغا Pic de Tinga) ، والذي نمر بوساطته إلى النماذج التالية ، والميكروسيينيت النيفيليني في بريدازّو ، الذي يكون فيه الصفاح الحديث متحولاً كلياً إلى سيريسيت .

جـ ــ نماذج ميكروليتية

وتتمثل **بالفونوليت** أو الأحجار الصوتية (شكل ٥٧ ، I) ، وهي نوع من التراكيب المشحونة بالنيفيلين ، وتظهر دائماً على شاكلة صفائح رمادية أو مخضرَّة ورنّانة (ومن هنا جاءت تسمية الصخر) . ويتأتّى البريق الدهني للمكسر من وجود النيفيلين . وتتألف الفونوليت من بلّورات ظاهرة من الصفاح التلوي (سانيدين) ومن نيفيلين غارقين في عجين زجاجي غني بالميكروليتات الفلاحة ، التي لها توجيه طبقي ،

وتفسر هذه البنية السَيَلانية لنا سهولة تفلُّق هذا الصخر أحياناً. إنها صخور غنية بالسيليس والألومين وفقيرة بالعناصر الحديدية ـــ المغنيزية. ويمكن أن تتشكل منها عندما تتفسخ زيوليتات، فيكون لدينا إذاً طرح للكلس، مما يفسر لنا كون هذه الصخور تعمل على الأغلب فوراناً بالحموض.

ونذكر **اللوسيتوفير Leucitophyre** والتي هي فونوليت ذات لوسيت وفيها يجتمع الصفاح القلوي واللوسيت معاً بالإضافة إلى بعض النيفيلين أو النوزيان، لكن بدون صفاح كلسي ـــ صودي.

وتشكل الفونوليتات مسكوبات لزجة، جدّاتٌ قاطعة، وعروقاً وحتى قبباً، بمثابة شعف[1] حقيقية بيلية أو لاكّوليتات. إنها شائعة جداً في الكتلة المركزية الفرنسية، حيث يعود إندفاعها للبليوسين الأعلى (كانتال، ميغال، ميزنك، جيربييه دي جونك، روش تويليير وسانادوار في موندور ... إلخ).

VI ـــ عائلة الغابرو النيفيلينية

وتكون نسبة السيليس، لدى هذه الصخور، التي يترافق فيها الصفاح الكلسي ـــ الصودي بصفاح حديث أو أكثر، من ٤٠ إلى ٥٠٪.

النماذج الحبيبية: هي **التيراليت théralites** (البيرينيه، أمريكا) **والاسّكسيت essexites** (بوهيميا، الولايات المتحدة)، صخور كتلية متقاربة جداً، ويتشكل الصفاح الكلسي ـــ الصودي فيها من اللابرادور على الأغلب ويترافق أحياناً بصفاح بوتاسي مع نيفيلين، أوجيت، أوليفين ... إلخ.

النماذج الحبيبية المجهرية: وهي صخور عرقية تترافق مع السابقة ولها تراكيب متقاربة (ميكروغابرو ونيفيليني ولوسيتي).

---

(١) الشعفة رأس الجبل.

النماذج الميكروليتية: وتسمى عادة **تيفريت téphrites**، وهي عبارة عن بازلت خاص ذي لون داكن تقريباً مع (الصخر عندئذ من **البازانيت**) أوليفين أو بدونه ويصعب تمييزها **بديهياً** عن البازلت الحقيقي. وتحتوي هذه الصخور على الهويين. وقد أشير لوجودها في الليمان Limagne، والحفرة الرينانية (بركان كايزرتوهل، وبوهيميا وجزر كناري (الخالدات) وجزر الرأس الأخضر ... إلخ).

ونجد في **الليكوتيفريت** خليطاً (شكل ٥٧، II) من بلاجيوكلاز أساسي، لابرادور أو أنورتيت، ولوسيت ومن أوجيت بشكل بلورات ظاهرة وميكروليتات، وأحياناً من أوليفين (والصخر آنئذ هو بازانيت لوسيتي). ولهذه الصخور لون رمادي أو مائل للسواد وتبدي عدة كريات من اللوسيت. يتمثل هذا الصخر بلابات فيزوف ــ صومّا وببراكين تافنة الرابعية في ضواحي وهران. وتشهر ناحية روكا مونفينا في أرياف نابولي بغزارة بلّورات غليظة من لوسيت وتستثمر هذه الصخور هنا لصناعة البوتاس.

VII ــ عائلة الأيجوليت

هنا لا نجد سوى الصفاح الحديث «الصفاحويات» كعناصر بيضاء وتهبط نسبة السيليس المئوية إلى ٤٥٪ وأدنى من ذلك.

ويمثل الايجوليت **النماذج الحبيبية**، وهو صخر نادر تقريباً ويتشكل، من تجمع النيفيلين والبيروكسين القلوي (ديوبسيد آيجري أو آيجرين)، مع بعض عناصر ملحقة، بـجّـادي ميلانيت، سفين، ماغنيتيت... إلخ. ويشكل كتلاً صغيرة بخاصة في اسكندينافيا، حيث يشترك مع صخور أخرى ذات صفاح حديث. **والميسّوريت**، هي صخور قريبة منه، قلوية، حبيبية، موصوفة غالباً كصخور بركانية.

النماذج الميكروليتية: هي أكثر انتشاراً وتتمثل بالبازلت النيفيليني أو اللوسيتي. فالأولى يدعونها أحياناً **نيفيلينيت** (تجمع نيفيلين مع أوليفين وأوجيت)، إنها

صخور سوداء تذكّر كثيراً بالبازلت الحقيقي. مثلاً، نذكر عروق اسيّ لاكوت إلى القرب من نانسي، التي تقطع سافات الترياس الأعلى اللياس الرقيقة ورأس جبل (بوي Puy) سان ساندو في الليماني.

والثانية هي **اللوسيتيت** (تجمع لوسيت وأوجيت مع أوليفين)، وتتمثل بصخور رمادية اللون أو سوداء، وتؤلف مسكوبات فيزوف الحديثة.

VIII ـ عائلة البريدوتيت

وتشمل هذه العائلة نماذج مؤلفة بصورة رئيسة من عناصر سوداء وتكون خالية من العناصر البيضاء؛ أي أساسية جداً. وهي أيضاً الصخور الأكثر أساسية، التي نعرفها، إذ أنها تحوي على الأكثر ٤٣٪ من السيليس. ويتراوح وزنها النوعي بين ٢٫٧ إلى ٣٫٥ (وللمقارنة نذكر أن الوزن النوعي للغرانيت يتراوح بين ٢٫٥٩ إلى ٢٫٧٣). ومع هذا فإن الحساب دلَّ على أن مهْـلها يحتوي أيضاً على عناصر بيضاء إفتراضية.

أ ـ نماذج حبيبية

الأنواع حسب العنصر الحديدي ـ المغنيزي، هي البريدوتيت، البيروكسينيت، الهورنبلانديت، وكلها صخور كتلية؛ غير أن النوعين الأولين هما الأكثر تفرداً والأكثر شهرة.

البريدوتيت وتشمل عدة أنواع تصنف استناداً لطبيعة البيروكسين المشتركة مع البريدو أوليفين، وعدا عن ذلك؛ فإنها برمتها تحتوي على فلز من زمرة السبنيلات[1] وأحياناً على بجّادي بيروب.

---

(١) السبينل فلز بنيته $Mg\ Al^2O^4$ وحيث يمكن لأوكسيد حديد أو الكلس أن يحلَّ أحدهما جزئياً محل Mg، بينما أوكسيد الحديد يحل محل الألومين ($FeO.\ Fe^2O^3$)، الأحمر منه هو الياقوت، والأسود هو البليوناست أو البيكونيت، وبعض السبينلات عبارة عن زمر حقيقية متشاكلة (isomorphes).

فإذا كان البريدو موجوداً فيها لوحده، مع قلة من الحديد الكرومي، فالصخر هو **الدونيت dunite**، وهو صخر مون ـــ دون في زيلاندة الجديدة، متحوِّل بقسم كبير منه إلى سربنتين.

ويعطي تجمع البريدو والبرونزيت (بيروكسين معيني مستقيم) **الهارزبورجيت**، وتجمع البريدو مع الديوبسيد (بيروكسين أحادي الميل) يعطي **الوهرليت wehrlite**. وأخيراً **الليهرزوليت lehrzolite**، هو خليط من الأوليفين والبيروكسين المعيني المستقيم وأحادي الميل، (شكل ٥٨)، ويؤلف صخراً غريباً، معروفاً جيداً في البيرينيه، حيث يشكل حَدَبات bosses لاكوليتية في اللياس، وقد كان هذا الصخر موضوع جدل ونقاش من ناحية منشئه حتى أنهم زعموا أنه متأتّ من استحالة دولوميا موجودة من قبل (م. لونغشامبون). إنه خليط من أوليفين، وهو المسيطر، وبرونزيت مع ديوبسيد كرومي بالإضافة إلى سبنيل أسود، كثيف جداً وضارب إلى الاخضرار.

البيروكسينوليت ويتضمن زمرة من الأنواع حسب البيروكسين الأساسي. **برونزيت**، **ديالاجيت**، **هيبرستينيت**، **ديوبسيديت**... إلخ. والآريجيت هو النوع الأهم. يشكل الآريجيت عروقاً في داخل الليهرزوليت ويمكن اعتباره مشتقاً عنها عن طريق إنقاص الأوليفين وسيطرة البيروكسين. فهو خليط من ديوبسيد، برونزيت، سبنيلات ومن بجّادي أصفر، ويدل هذا التركيب الكيميائي تماماً، على أنه من الواجب تصنيفه في زمرة



شكل ٥٨ ــ ليهرزوليت : D، ديوبسيد. O، أوليفين. E، أنستاتيت؛ بالأسود، أوكسيد الحديد الأولي.

البريدوتيت. غير أننا إذا أخذنا بعين الاعتبار تركيبه التقديري، فإن إلحاقه بالغابرو هو الأفضل، بسبب وضوح التجمع الصفاحي (نماذج مختلف الأشكال حسب لاكروا).

وكثيراً ما تفسد الصخور الكتلية من عائلة البريدوتيت وتتحول إلى سربنتين .

وهذه على التوالي ، التحاليل الكيميائية لدونيت من كارولينا الشمالية ، وبيروكسينوليت من الأورال وليهرزوليت من براد (البيرينيه) :

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	Cr_2O_3	كروميت
٤٠ر١١	٠ر٨٨	١ر٢٠	٦ر٠٩	٤٨ر٥٨	»	»	»	٢ر٧٤	٠ر١٨	٠ر٥٨
٤٠ر٤٣	٥ر٧٢	١١ر٢٥	١٠ر٣١	١٤ر٠٦	١٨ر٢٣	»	»	٢ر٧٤	٠ر١٨	٠ر٥٨
٤٢ر٠٠	٣ر١٩	٢ر٨١	٤ر٤١	٤٠ر٤٠	٣ر٣٠	١ر٢٠	٠ر٢٩	١ر٦٦	٠ر١٨	٠ر٥٨

والنماذج الحبيبية من البريدوتيت ، هي صخور اندساسية « دخيلة » ، تجتمع غالباً ، في كتل ، مع صخور أساسية أخرى (دوليريت ، غابرو) وقد تمر إليها تدريجياً بضم الصفاح . ومن الناحية الاقتصادية ؛ فإن أهميتها كبيرة ، إذ أنها تؤلف مكامن ركاز أو خام الكروم (تفرد حديد كرومي في كالدونيا الجديدة وكندا) ، مكامن النيكل (غارنييريت كالدونيا الجديدة) والبلاتين (بلاتين صاف في الأورال) .

ب ـــ نماذج أوفيتية

وتتمثل **بالبكريت Picrites** ، وهي صخور سوداء مؤلفة من بريدو وأوجيت ، بنيتها أوفيتية وأحياناً حبيبية مجهرية وتحوي فلزات ثانوية ، تساعد على تمييز أنواع (هورنبلاند ، بيوتيت ، أنستاتيت ، ماغنيتيت ، أباتيت) . غير أن هذا الصخر يحتوي غالباً على زجاج ونمرّ به إلى النماذج التالية . ونجده بشكل عروق أو مسكوبات .

جـ ـــ نماذج ميكروليتية

لنذكر **الكمبرليت** ، وهو صخر يشكل المادة الرئيسة من البريش ، الذي يملئ مداخن الكاب الماسية الشهيرة والمؤلفة من بلورات ظاهرة من البريدوت ، برونزيت ، ديوبسيد كرومي ، بـجّـادي وبيوتيت غارقة في عجين زجاجي محـوّل إلى سربنتين . ويعطينا تفكك هذا البريش « البلو غراوند » «**blue ground**» ؛ أي الأرض الزرقاء التي

تحتوي على الألماس[1]. واللامبورجيت **Limburgites** هو أيضاً نموذج ميكروليتي مؤلف من أوجيت وأوليفين على شاكلة بلورات ظاهرة غارقة في زجاج غني بميكروليتات الأوجيت، الأوليفين والماغنيتيت. وهذا الصخر متراص، أسمر محمرّ ويأخذ مظهر القار.

إنه بازلت بدون صفاح نصادفه في موندور وسحنته مدينة للتبرد الفجائي.

وإذا كان صخر ما مؤلفاً حصراً من أوجيت على شكل بلورات ظاهرة وميكروليتات سابحة في زجاج تذكرنا من حيث تركيبها الكيماوي بالأوليفين فهو **أوجيتيت** ويتميز عن السابق بغياب بلورات الأوليفين. وهذا الصخر نادر ومعروف في بوهيميا وجزر الرأس الأخضر.

٣ ــ النيازك

النيازك، هي كواكب متأتية، على الأرجح من المنظومة أرض ــ قمر ومقذوفة في الفضاء أثناء فصل الكوكبين[2].

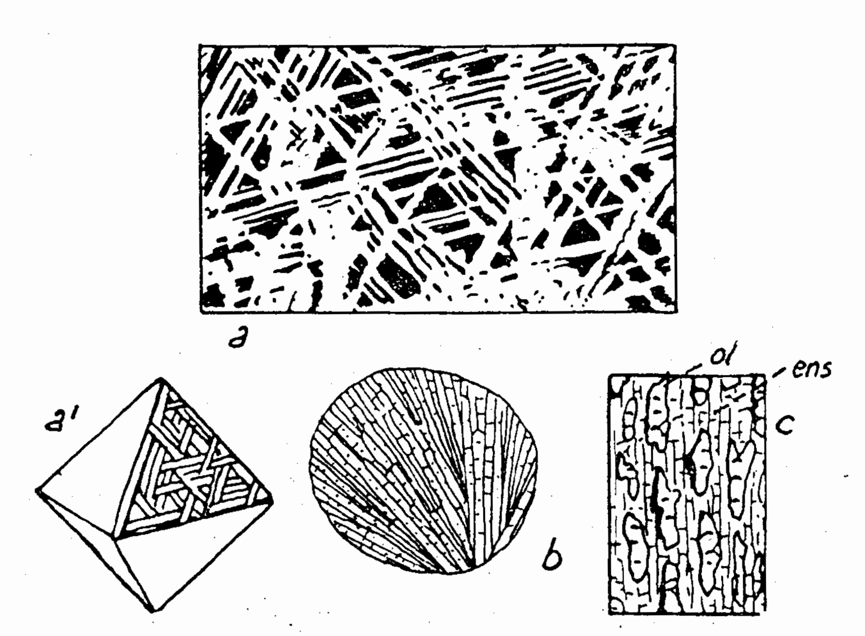
وعلى أي حال فإن أحدث الأبحاث توصلت إلى هذه النتيجة، عن النشاط الإشعاعي وعن عمر هذه «الأحجار التي سقطت من السماء» والتي كانت دائماً مثار التخيل الشعبي. وإن هذه الأشياء تهمنا من ناحية تراكيبها وبخاصة من حيث، يمكن اعتبارها بمثابة عيّنات من الصخور العميقة، التي يتعذر على تحرياتنا الأرضية بلوغها.

---

(١) يفكرون حالياً أن الماس يتأتى من صخر استحالي يدعى إيكلوجيت، مؤلف من أوجيت وبجّادي **grenat**.

(٢) يعتبر بعض المؤلفين حفرة الهادي مع قعره المؤلف من سيما بمثابة كوّة لانطلاق القمر (انظر ل. موريه. **مقارنات جيولوجية وجغرافية للأطلسي والهادي**. مجلة جيوغرافيا. تشرين أول، تشرين ثاني، كانون أول ١٩٥٢).

ومن هذه النيازك ماهو معدني وماهو صخري، وماله تراكيب وسيطة، غير أن جميعها مؤلف من أجسام بسيطة (Fe, Ni, Si, Co, Mg, Ca, Al, Cr, S, P, O, Ca وحتى Cl, N, H, C) ومن فلزات معروفة على الأرض.



شكل ٥٩ ــ نيازك . a ، أشكال ويدمانستاتن . á ، رسم تخطيطي لبنية مثمنة الوجوه للحديد النيزكي . b ، بنية البريدو بشكل كوندر[١] . c ، كوندر من نيزك شاتو ــ رينار (آ. لاكروا) (o، أوليفين : ens، أنستاتيت : Cr ٢٠٠).

وعندماَ تصل إلى الأرض، تكون عادة سرعتها كبيرة، مما يفسر توهّجها، تتفجر وتتوزع شظاياها على مساحة كبيرة، غير أن بعضها قد احتفظ بحجم لا يستهان به، حتى أنهم يفترضون أن مكمن حديد كانيون دي ديابل الشهير في آريزونا (الولايات المتحدة)، الذي يكمن في قاع فوهة بركان عرضها ١,٥ كم وعمقها ١٥٠م، إن هو ليس إلّا نيزك ضخم مطمور بعمق كبير في الأرض[٢].

(١) اسم يطلق على كريات من بضع ميكرونات إلى بضع ميللمترات تؤلف من بيروكسينات (أنستاتيت، برونزيت، هيبرستين) ومن بريدو وبلاجيوكلاز (نادر) وعدة فلزات ثانوية غنية بالحديد والنيكل.

(٢) هذه الفرضية رائجة جداً حالياً لتفسير بعض أعداد من فوهات كانت تعتبر حتى يومنا هذا وكأنها من أصل بركاني.

النيازك المعدنية: مظهرها عامة خبثي وكهفي. وتتألف بشكل رئيسي من صفيحات حديد نيكلاوي (أي يحتوي على نيكل) مرتَّبة على شكل خاص، يُظهر تفاعل الحمض على سطح مصقول منها، ترتيب الصفيحات المتشابكة حسب وجوه مثمن الوجوه، أشكال ويدمانستاتن Widmannstätten (شكل ٥٩، a و á).

وتثبت هذه البنية على أن النيازك هذه، لم تنشأ إلّا في مهل عميق، تبرد ببطء تحت ضغط كبير. إنها غير معروفة على الأرض، حيث يكون الحديد من جهة أخرى نادراً جداً والحديد الحاوي على نيكل، لم يأت ذكره إلّا في بعض البريدوتيت فقط.

النيازك الحجرية: وتتألف بخاصة من السيليكات الأساسية، مع قلة من الحديد النقي. وعند وجوده؛ فإنه يظهر على شاكلة دخيلات في البريدو، الذي يؤلف الفلز الأكثر شيوعاً في هذه النيازك.

وبصورة عامة، فإن هذه النيازك عبارة عن كتل كبيرة الحجم تقريباً ومغطاة بقشرة سوداء. وفي أكثر الحالات شيوعاً، يتألف الصخر من كريات من البريدو بمقياس حبة الذُخن (ذُرة بيضاء)، غارقة في ملاط مؤلف من تجمع حبات البريدو، الحديد الغني بالنيكل، البرونزيت أو الهيبرستين (شكل ٥٩، c). وتكون بنية كريات البريدو، وتدعى أيضاً **كوندرات** (شكل ٥٩، b)، فريدة بنوعها وغير معروفة على الأرض. فتتألف الكريات من حزمة من بلورات صغيرة عصوية تتشعَّع من نقطة من الكريَّة، وتبدو على شاكلة قطيرات من مادة منصهرة، ثم تصلَّبت. وهذه المادة متأتية من انسحاق مهل. وهذه النيازك الحجرية المبنية على أساس البريدو والتي تكون عامة سيليكات غير ألومينية، يمكن مقاربتها بالبريدوتيت، غير أن بعضها يكون صفاحياً (أنورتيت، أوجيت وبرونزيت) ويذكرنا عندها بالغابرو.

٤ ــ المكامن المعدنية
من أصل ناري وهيدروترمالي (مائي حراري)

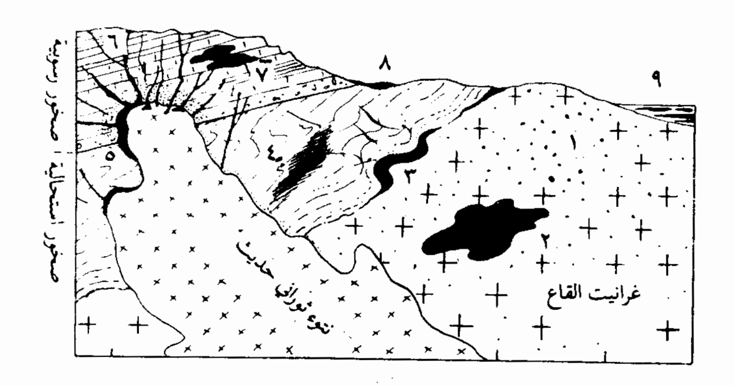
وندرسها هنا على اعتبار أنه يمكن النظر إليها كحالات خاصة من التمايز ومن التطور العادي للمهل[1].

ويمكن تمثيل مجمل هذه المكامن تخطيطياً، بباقة من شجيرات متشعبة للغاية، حيث تنغرس جذورها في المهل الاندفاعي العميق، الذي هو أصلها والذي ينتهي الأمر بالتشعبات المقببة تقريباً (مكامن فلزية نارية)، بأن ترتفع عبر طبقات القشرة الأرضية (عروق) وذلك حسب الشقوق والفصمات، التي التقت بها صدفة وسنصفها حسب هذا الترتيب الصاعد (شكل ٦٠). ونلاحظ أنه إذا كان هذا التصنيف المناسب والمقرّر عموماً، مبنياً على العمق، الذي تشكلت فيه مختلف المكامن هذه، الذي يقوم الحت عند بلوغه عمقاً معيناً بكشفها، فإن تصنيفاً آخر ندين به إلى نيغلي، يعمل على إدخال توزع المكامن حسب المناطق البنيوية الكبرى للكرة الأرضية: مكامن الاركائيد Archaïdes (نطاق هوروني، سطيحات قديمة) مع مكامن مهلية حصل فيها التبلور بحرارة مرتفعة (أورتومغماتيك) ومكامن استعاضية (ماغنيتيت بيرّوتيت نيكلي)، مكامن الباليوئيد Palœoïdes (نطاقات كاليدونية وهيرسينية) مع مكامن بغماتيتية، غازية واستحالية نارية Pyrométasomatiques، وهيدروترمالية (قصدير، ذهب، نحاس، رصاص، توتياء، فضة). مكامن الميزوئيد Mésoïdes (نطاقات ميزوجينية وألبية) مع بعض مكامن مهلية، حصل فيها التبلور بحرارة مرتفعة، استعاضية نارية، هيدروترمالية (كروم، نيكل، حديد).

الدخيلات (شكل ٦٠، ١): يكون الركاز minerai هنا في الصخر الاندفاعي

(١) يمكن اعتبارها بمثابة حادثات سعيدة للإنسان. غير أن الإنسان، إلى جانب هذه النماذج من المكامن، يستثمر أيضاً مكامن رسوبية المنشأ وإطمائية؛ أي أكثر سطحية وهي التي ستتاح لنا دراستها فيما بعد مع الصخور الرسوبية.

متمثلاً على شاكلة لطخات صغيرة وعلى قدم المساواة مع فلز ملحق وهكذا تحتوي الصخور طبيعياً على كاسّيتيريت، ماغنيتيت، أوليجست وكباريت مختلفة. ولا يستغل الركاز إلّا إذا كانت له قيمة كبيرة: بلاتين في بريدوتيت (بيروكسينوليت) الأورال وفي نوريت الترانسفال، وذهب في مرو الغرانيت... إلخ.



شكل ٦٠ — رسم تخطيطي يبين بوضوح مظهر وعلائق مختلف المكامن المعدنية ١، دخيلات. ٢، تفرُّد. ٣، تفرُّد محيطي. ٤، تشرُّب منبث. ٥، مكمن تماس أو استحالة. ٦، عروق. ٧، مكمن استعاضة. ٨، مكمن زحزحة. ٩، مكامن رسوبية.

مكامن التفرُّد (شكل ٦٠، ٢) **Gites de segrégation**: يحصل تمايز في وسط المهل لدرجة يؤدي معها إلى أن يطرد المهل موضعياً، كتلاً هامة من الركاز (بخاصة أكاسيد). ويمكن لهذه التركيزات، أن تحصل في الصخور الأساسية: كروميت في البريدوتيت الفاسدة لكاليدونيا الجديدة، وماغنيتيت في بيروكسينيت الأورال، وماغنيتيت تيتانية لتابرغ في السويد. وإننا نعلم أيضاً بوجود تفردات مماثلة في الصخور الحمضية: مكامن ضخمة من الماغنيتيت في ريوليت وميكروسيينيت كيروينافارا في لابونيا السويدية.

ويمكن لهذه التفردات، آن تحصل أحياناً فوراً عند تماس الصخر الاندفاعي (عادة أساسي) مع الصخور المغلّفة: فيقال عندها أن لدينا **تفرداً هامشياً**

segrégation périphérique (شكل ٦٠، ٣). ويبدو أن تركيز الركاز (ويكون هنا بخاصة من الكباريت) كان محدداً بالانخفاض، الذي حصل نتيجة لهذا التماس[1]. وتظهر هذه الحالة في بيـرّوتين عدة مكامن لصخور غابرويّـة في النروج وفي مكمن البيـرّوتين النيكلي الشهير في سدبوري في كندا. ويظهر هذا الأخير متمدداً بالتدرج على حافة لاكوليت ضخم متداخل في الطبقات اللورنسية. وتكون ظاهرات التمايز بالثقالة هنا رائعة الوضوح؛ فالقسم الأعلى من اللاكوليت مؤلف من غرانيت، بينما يحتل النوريت القسم الأسفل ومن المحتمل أن يكون تمايز الركاز الكبريتـي حصل بالوقت ذاته.

مكامن غازية Gites de pneumatolyse : تدين مكامن كهذه للممعدنات، التي تنطلق من المهل أثناء الطور الأخير من التصلب، وهي شائعة في البغماتيت، وهي صخور غنية بالفلزات الفلورية أو البورية، لأطراف الكتل الغرانيتية. وقد نصادف فيها فلزات نادرة من عائلة السيريوم (زركونيـوم، لانتـان، تانتـال، إيتريـوم... إلخ)، والبيريلليوم، والطوريوم، والأورانيـوم.

مكامن تماسية أو استحالية (شكل ٦٠، ٥): وهي مكامن مدينة لحادثات الاستحالة الخارجية وتبدو مرتصفة على حدود الكتلة الاندفاعية والصخور الماسّـة لها. وهنا تتداخل أيضاً الممعدنات. وتكون دائماً آثار الاستحالة على الصخور المغلفة واضحة جيداً، من جراء وجود فلزات الاستحالة (هالات الاستحالة) من جهة، ومن وجود الركاز من جهة ثانية. وتدخل في هذه الزمرة مكامن من نموذج بانات، في يوغسلافيا، وكذلك الأمر فيما يتعلق بمكمن الموليبدينيت في آزغور، في أطلس مرّاكش، حيث عملت كتلة من الغرانيت على استحالة معقد شيستوي ـــ كلسي كامبري إلى شيست ملطخ، وصخور قرنية وغريناتيت ممعدن. ويبلل الموليبدينيت الأقسام الدنيا

---

(١) يمكن تفسير هذا بمبدأ سوره Soret الذي يزعم أنه عندما يكون قسمان من محلول ملحي مرفوعان إلى درجات حرارة متفاوتة، فإن التركيز يميل إلى الازدياد في القسم البارد، وقد توصل فيسل Wessel لنتيجة مماثلة انطلاقاً من مواد منصهرة ذات قوام لزج.

من المكمن، بينما يشغل، البيريت، والكالكوبيريت، والبلاند، وهي ركازات أخف، تحتل الأقسام العليا.

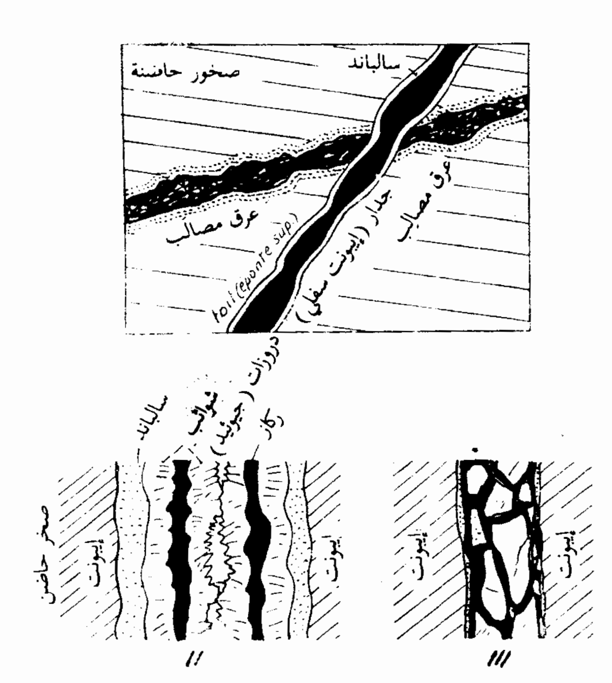
مكامن التشرُّب المنبث (شكل ٦٠، ٤): وقد أوجد هذا النموذج دي ـ لونه De Launay لمكامن لم تعد بعد على اتصال مباشر مع المهل الناري وتتعلق بالأحرى باستحالة إقليمية. إنها عموماً كباريت كتلية مبعثرة أو متداخلة في الشيست الاستحالي العائد للسطيحات القديمة (مجنات اسكندينافيا، ترس كندا، وافريقيا الجنوبية). ولنذكر مثلاً أكداس البيريت في غنايس السويد (في آنّبرغ Anneberg) وفي «**الفاهلباندس**» (أشرطة بيضاء) **Fahlbandes** في النروج، ومكامن ريو تنتو Rio Tinto، في اسبانيا والتي تبلغ مساحات هائلة (١٥٠٠م طولاً على ٢٠٠ ـ ٣٠٠م عرضاً)، هي على الأغلب من التي يجب إلحاقها بهذا النموذج.

وتكون جميع نماذج المكامن، التي جئنا على ذكرها، هي تقريباً مطابقة لجيولوجية المنطقة العامة؛ فهي على صلة بالصخور النارية وتظهر في مكانها، وتؤلف الدخيلات والتفرُّدات جزءاً من موكب الظاهرات التي حدثت أثناء تمايز المهل ويمكن تفسيرها بمعطيات علم تشكل المكامن المعدنية ومعطيات الكيمياء الفيزيائية [1]. ويمكن فهم المكامن الغازية والتماسية بسهولة أيضاً، إذ أنها تتواجد في النطاق المحيطي للمهل؛ أي النطاق الذي تتوافد إليه جميع المواد الطيارة والممعدنات. ويبرر اختراق أبخرة كهذه، «**أعمدة راشحة colonnes filtrantes**» حقيقية ممعدِنة إلى حد بعيد في الصخور المغلّفة، أثناء دورة الاستحالة الإقليمية، يبرر وجود مكامن التبلل المنبث. وسنرى أن الأمر يختلف كثيراً عندما تكون المكامن في العروق، وهي نماذج مكمنية شائعة كثيراً.

---

(١) لقد تمكنوا هنا من إدخال مفهوم الخلائط اليوتكتية (خلائط ذات نقاط انصهار بالغة الحد الأدنى من حيث الانخفاض). إن بعض الركازات هي، من قبل، بالفعل، يوتكتيكات طبيعية. وهكذا، فإن الالليمونيت Allemonite الذي ظنوا أنه اتحاد الزرنيخ والأثمد (As^3Sb)، إن هو إلّا يوتكي. وإذا أجريَ تفاعل بالماء الأوكسجيني بعيار ٣٪ على سطح مصقول فإنه يُظهر في غضون عدة دقائق أن مناطق الزرنيخ قد تأثرت بالتفاعل بينما بقيت مناطق الاثمد سليمة.

العروق (شكل ٦٠، ٦): لا يَعدّ وضع الركاز في عرق، بالواقع، مطابقاً لظاهرات الجيولوجيا العامة. ويمكن تعريف عرق بشريان أو بصفيحة رقيقة متمعدنة، ناجمة عن ملء فالق أو فصمة هامة تقريباً، تتقاطع كيفياً مع الصخور البلورية والطبقات الرقيقة الرسوبية صاعدة في القشرة الأرضية إلى حد بعيد (شكل ٦١). وتطلق بلغة عمّال المناجم، كلمة **إيبونت épontes** (القاف أو جوانب العرق) على جداري المكمن، فالجدار الأعلى هو **السقف**، والجدار الأدنى، هو **الحائط** (شكل ٦١، I و II). ويكون العرق نفسه مفصولاً عن السقف والحائط الصخري (صخر مغلّف) بأجزاء مهشمة، غضارية، وغالباً ما تكون متمعدنة، وتسمى **سالباند Salbandes** أو الحاشية.



شكل ٦١ ـــ **عروق ذات معادن**. I، نماذج من العروق. II، تفصيل لعرق متخثر. III، عرق بريشي.

وتوجد عدة أنواع من العروق: بسيطة، متشعبة، متصالبة. وفي هذه الحالة؛ فإن العرق المصالِب أحدث من العرق المصالَب معه. وأحياناً نجد كتلة صخرية بكاملها، يمكن أن تحدد بعروق (**ستوكورك Stokwerke**).

أما ما يتعلق بالعرق، فإنه مؤلف من الركاز وحثالته. ويشترك في هذه الحثالات، عدد من الفلزات، تاركاً غالباً فسحات فارغة أو **دروزات**[1] **druses** (جيودات **géödes**) مبطنة ببلورات رائعة: مرو، كالسيت، دولوميا، سيدروز، بارتيين، فلورين، جبس... إلخ.[*] ويكون مظهر الركاز بالنسبة لحثالته متنوعاً؛ فقد يكون ممنطقاً (شكل ٦١، II)، بريشي الشكل، (شكل ٦١، III)، أو كتلياً.

إن القوانين، التي نظمت ملْء واصطفاء فلزات الأوردة العرقية، لا تزال غامضة، غير أنه توجد صلات انجذاب مؤكدة بين الأجناس الفلزية. وهكذا فإن ركازات الحديد والمنغنيز تجتمع غالباً مع بعضها، وكذلك الأمر، فيما يتعلق بالغالين والبلاند، الكوبالت والبزموت، البيريت النحاسي والحديدي، كما أن الفلزات التالية غالباً ما تجتمع مع بعضها: فلورين، طوباز، موليبدينيت، كاسّيتيريت، ولفرام.

ويُلاحظ غالباً **تغيرات جانبية variations latérales** للشريان العرقي، من حيث الاتجاه، أو مع العمق. ففي حالة الاتجاه تنجم هذه التحولات على العموم عن الطبيعة الفيزيائية للأراضي المخترقة. فإن صخراً متشققاً أو مسامياً (دولوميا) سهل الاختراق أكثر من صخر رخو كتيم، غير أن التركيب الكيميائي للصخور المغلّفة بوسعه أيضاً أن يؤثر على محتوى العرق؛ فالمواد الفحمية بوسعها تحويل الكبريتات sulfates إلى كباريت sulfures ... إلخ. أما في العمق، فإن محتوى العرق هو الذي قد تطرأ عليه التحولات. وهكذا نجد أنه إلى القرب من الصخر الناري يبدو على الأرجح القصدير، الولفرام، المسبيكل، وإلى الأعلى، يبدو النحاس مجتمعاً مع القصدير أولاً، ثم بمفرده، وإذا صعدنا أيضاً نجد التوتياء، الرصاص، الزئبق أو فلزات الحثالات أيضاً، تتعدل بالاتجاه نفسه. وقد تمكن أيضاً ليندغرين Lindgren من اقتراح تصنيف للعروق حسب سخنتها في العمق: (عروق فوق حرارية، وسطية الحرارة، سطحية الحرارة).

---

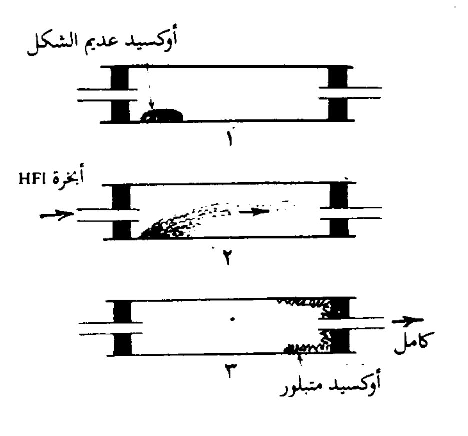
(١) تجاويف مبطنة ببلورات (المترجم).

(★) تقابل جبس gypse وبعد شيّه يصبح جصّاً وبعد جَبْله بالماء لاستعماله في البناء أو تجبير كسور العظام يدعى جبصين plâtre.

وقد تفسد العروق غالباً إلى القرب من السطح، عند التكشف، ويكون هذا الفساد، الناتج عن جريان المياه المزودة بحمض الكربون وإلى أوكسجين الهواء، يكون متحولاً حسب محتويات الوريد العرقي. وتحصل في الغالب سدّادة حديدية حمراء، تدعى «**قبعة الحديد**» والتي لا تهبط كثيراً عن أسفل مستوى المنطقة الهيدروستاتيكي ويمكن أن نميِّز نطاقين: الأول سطحي للفساد أو للأكسدة (القبعة بكل معنى الكلمة) والثاني نطاق أدنى أو نطاق السمْنَتة cimentation، أو نطاق إغناء الركازات (مكامن سمنتة). ويمكننا بالواقع أن نجد في هذا النطاق معادن نقية (ذهب، فضة، نحاس)، وكربونات، وكبريتات، فوسفات ومركبات معدنية أخرى ناجمة عن تفكك ركازات العرق الواقع تحت القبعة والذي لم يلحقه الفساد ولهذا نجده غالباً، أقل غنى من قبعته.

وقد أدت قضية منشأ العروق الحاوية على المعادن؛ أي ملء الشريان العرقي، إلى طرح عدة فرضيات: وأقدمها يتمثل بفرضية **الافراز الجانبي** **sécrétion latérale** لساند برجر Sandberger، الذي يرى أن محتوى العرق يشتق من نوع من إفراز الصخور المجاورة الناتج عن جريان المياه. فمحتوى العروق يصبح ذا صلة مباشرة مع محتوى هذه الصخور من المواد المعدنية. هذا وبما أن هذه الصلة ليست جليَّة في أكثر الحالات، فقد فكروا بملء **هبوطي** **Per descensun** من قبل مياه ممعدنة ساهمت في تهديم صخور من السطح حاوية على ركازات. إن هذه النظرية، التي تفسر بعض توضعات رسوبية من الترسيب الكيميائي، ليست كافية تماماً لإعطائنا معلومات عن جميع خصائص العروق في فرنسا والفرضية العكسية عن ملء **صعودي** **Per asensum**، دخلت في الحسبان؛ فالمادة الفلزية للعرق تتأتّى من المناطق العميقة من القشرة وقد تتمكن من الوصول إلى المناطق المرتفعة، إما بحالة **إنصهار ناري** (حالة نادرة، إذ أنه لا يوجد إطلاقاً أثر للانصهار على جدران العروق)، أو **بالتسامي** **sublimation**. وهذه النظرية الأخيرة كثيرة الاحتمال. وعلى كل حال، فقد أمكن تحقيقها تجريبياً، بفضل استعمال هذه الأجسام، التي سبق أن تحدثنا عنها والتي أسميناها بممعدنات minéralisateurs؛ فقد لاحظ هـ. سانت كليردي فيل، عند

إمراره أبخرة حمض فلور الماء على أكاسيد لا متبلورة موضوعة في أنبوب من حجر رملي مسخن للدرجة الحمراء (شكل ٦٢)، إن هذه الأجسام، بعد التبريد، نقلت إلى الطرف الآخر من الأنبوب بحالة فلوروارت طيارة، وأنها تبلورت فيه، متخلية كلياً عن حمض الفلور المستعمل في غضون التجربة. وبهذا نأخذ فكرة عن معنى هذه المعدنات، وهي أجسام مثل Cl, S, Bo, Fl باستطاعتها حتى بحجم زهيد، نقل كميات غير محدودة، من جسم آخر معروف بعدم الانحلال. وقد قام هوتفوي Hautefeuille بإجراء تجربة مشابهة مع بلاماء غاز التيتان anhydride titanique اللامبلور في تيار من حمض كلور الماء: فقد أعطت التجربة بلاماء غاز التيتان المبلور؛ أي أعطت التيتان. غير أن استعمال بخار الماء أعطى نتائج أيضاً أكثر روعة. ذلك أن دوبره Daubrée، بإمراره بخار الماء المسخن لدرجة أعلى من نقطة غليانه، على أبخرة من كلور القصدير، قد حصل على بلورات صغيرة من الكاسيتيريت[1]. وكان غي لوساك GayLussac من جهته، منذ عام ١٨٢١، قد استحصل على بلورات الأوليجيست، التي تبطن شقوق فوهة فيزوف المتوهجة، بفعل بخار الماء على أبخرة من كلور الحديد في أنبوب مسخن حتى الدرجة الحمراء.



شكل ٦٢ ــ تجربة هـ. سانت كلير ــ دي فيـل على المعدنات. يمرّر داخل أنبوب مسخن حتى الدرجة الحمراء، فيه أوكسيد معدني لا مبلور، تياراً من حمض فلور الماء. ١، قبل. ٢، أثناء. ٣، بعد. (نجد الأوكسيد مبلوراً في الطرف الآخر من الأنبوب: كامل حمض كلور الماء HFl قد استجمع).

(١) إن الكاستيريت، والحالة هذه، في المكامن القصديرية، يترافق مع فلزات فلورية، إن هذا الركاز يمكن إذاً أن يُفسَّر بفعل بخار الماء على أبخرة عميقة المنشأ من فلور القصدير. ولكن في هذه الحال، فإن نقل النحاس والتوتياء قد حصل بحالة كباريت. فطبيعة المعدِن تتحول إذاً مع المعدن.

وإن معادن أخرى، كالبزموت والتنغستين، والزركونيوم، والأورانيوم والذهب، قد نُقلت أيضاً بممعدنات، ولا نصادفها، من جراء ذلك، إلّا في الصخور الاندفاعية الحامضة.

إن دور بخار الماء عند تجاوزه الدرجة الحرجة والممعدنات في ملء العروق هو إذن مؤكد ولا يقبل الجدل، وإننا نعلم أيضاً أن منشأ هذه الأجسام الطيارة يجب البحث عنه في المهل العميق عندما يكون في طريقه للتصلب، وعندئذ تتفرّد بغماتيتات. وهذه الأقسام من المهل المتمايزة إلى بغماتيتات تكون شديدة الميوعة وبإمكانها أن تصعد إلى الأعلى في القشرة الأرضية مترافقة دائماً مع أبخرتها الممعدنة (خليط من بخار الماء وفلوروات، كلورورات وبورورات معدنية). فملء العروق يأتي إذاً عقب المرحلة البغماتيتية ــ الغازية (انظر ص١٦٥)، ويبدأ بالمرحلة اللاحقة أو الهيدروترمالية، المتميِّزة، بعد تصفية هذه اليحاميم fumerolles التدريجي، ببخار الماء البسيط الممعدن، وهو أصل بعض الينابيع الحارة المعدنية عميقة المنشأ[1]. وإنه لأمر طبيعي أن تغنى أيضاً هذه المياه بالمواد الفلزية في غضون جريانها في الصخور السطحية، وأن تساهم من جهتها، في ملء شقوق حرارية بقدر ما تحصل تحولات في الحرارة وفي الضغط. انطلاقاً من هذا المعنى، يمكننا القول بأن كثيراً من العروق ليست سوى مسارات قديمة خاصة بالينابيع المعدنية الحارة (دوبره).

غير أن دورة المادة المعدنية لم تنته بعد، وأن تشكل المكامن لا يتوقف مع تبرد المهل وتخثر العروق. إن جميع مكامن هذه الأطوار النارية والهيدروترمالية، يمكن بالواقع أن تستعاد وأن تتزحزح بالمياه التسربية والمحاليل الـغِروانية، وهي نقطة انطلاق ظاهرات عظيمة من استعاضة ونقل. وعلى هذه الصورة تنشأ المكامن التي يقال عنها **مكامن استعاضية «حلول»** **substitution** (شكل ٦٠، ٧) **وسمنتية** (انظر ص ٢٠٣).

غير أنه يمكن أن توجد أيضاً **مكامن متخلّفة أو متبقية** **Residuels** ناجمة عن

(١) غير أن جميع المياه الحارة ليس لها هذا المنشأ «البكر»، ويفكرون الآن بأن معظم ينابيعنا المعدنية الحارة ليس سوى مياه جوفية ساقتها أنظمة الجريان إلى عمق ما (تمكنت فيه من أن تتمعدن وتسخن) وأن شقاً أكبر من غيره يعيدها بشكل فجائي إلى السطح (انظر ل. موريه، **الينابيع الحارة**، باريس ماسّون ١٩٤٦).

فساد عادي للصخور في حال عدم وجود أي مكمن (شكل ٦٠ ، ٨) . وهكذا فإن المياه المكربنة بوسعها أن تنزع منغنيز الفلزات السيليكاتية المنغنيزية للصخور الإندفاعية وتنقله إلى جهة أخرى، إلى صخور كلسية مثلاً، حيث يتفاعل ثاني كربونات المنغنيز مع كربونات الكلس ليعطي ثاني كربونات الكلس مع كربونات المنغنيز ، الذي يتيح تشكيل مكمن بتجمعه في موقعه [١] وإذا كان الأمر يتعلق بمحاليل غروانية؛ فإننا نعلم أن هذه المواد لها خاصة حلّ الأكاسيد والكباريت المعدنية وإتاحة نقلها على هذا الحال. وهكذا؛ فإنه يمكنها في بعض نقاط من القشرة أن تتثبت وتتخثر لتعود تدريجياً مبلورة ومعيدة بذلك الركاز المنقول. وتنجم تخثرات العقيدات أو بازلاء الليمونيت ، أو بعض مكامن المنغنيز ، بلا شك ، عن تدخل المواد الغروانية .

لقد بيّن ل. دي لونه **L. De Launay** وجود بعض الدورية في الدفقات المتمعدنة ، وانها تتطابق مع العصور ذات النشاط الكبير في حركات تشكل الجبال وبخاصة مع طور البركنة ، الذي يجتمع دائماً مع هذه العصور في مرحلة لاحقة ، وهكذا فإننا نجد فيما يتعلق بالنحاس أن الدفقات الرئيسة له، هي بريكامبرية (مكمن البحيرة العليا)، هيرسينية (أوروبا الوسطى) وثالثية (جبال الألب وأمريكا الجنوبية) . وتكون دفقات القصدير ، غالباً هيرسينية . غير أن تخفيض **dégradation** السلاسل المنتصبة على هذا النحو بإمكانه أن يعطي ، إذا ما توفرت بعض الشرائط وبحكم الحت والترسيب، مكامن جديدة واسعة الأرجاء ندعوها **مكامن رسوبية** **Gites sédimentaires** .

وعلى هذا المنوال تنشأ، بخاصة، ركازات الحديد المسماة بيوضية أو سرئية، والتي سندرسها فيما بعد مع الصخور الرسوبية (شكل ٦٠ ، ٩) .

حالة خاصة، عروق مرو أو كالسيت: لقد رأينا فيما سبق، ما هي عليه

---

(١) إن مكامن النيكل الشهيرة في كاليدونيا الجديدة تصبح ، حسب رأي أ. لاكروا، ناجمة فقط عن ظاهرات فساد سطحي في الهواء الطلق . إنها مياه الجريان الحمضية هي التي أدّت إلى هذه الطلاءات الكثيفة على كتل من السربنتين ــ بريدوتيت (انظر أيضاً فيما يتعلق بهذا الموضوع المقالات الحديثة التي أجراها ب. ترمييه التي نشرت في **مذكرات الجمعية الجيولوجية لفرنسا** ، رقم ٦٧) .

العروق المتمعدنة، وطبيعتها المعقدة ومنشؤها المرجَّح. غير أننا نصادف في الصخور عروقاً أخرى، عديدة للغاية أحياناً، ويكون وجودها عادياً تماماً، إنها عروق مرو وكالسيت، فإذا وجدنا لها أحياناً سماكات هائلة (بخاصة العروق الكوارتزية)، نراها بالأحرى في أغلب الأحيان، عبارة عن شبكة عروق صغيرة يعادل عددها قلة سماكتها. وفي ذلك حادث هام، يتمثل في كون عروق المرو تكون دائماً تقريباً مجتمعة مع الصخور السيليسية ـــ الألومينية، وعروق الكالسيت مع الصخور الكلسية أو المارنية، وحتى مع الصخور ذات القوام الفرِط. ومن البديهي أن يبرر ملء بعض هذه العروق (بخاصة أكثرها سماكة) بتدخل مياه حارة ممعدَنة بالسيليس أو بكربونات الكلس، فتدخل هذه العروق إذاً في الحالة التي درسناها أعلاه بعروق الطور الهيدروترمالي. غير أن السواد الأعظم من عروق المرو أو الكالسيت في فرنسا، والتي تشكل أحياناً شبكة معقدة في الصخور، لا يمكن إدخاله في هذه الزمرة بسبب عثورنا عليها حتى في الصخور الرخوة (شيست مارني أو غضاري)، حيث لا تتمكن شبكة من الشقوق الفاغرة من المكوث زمناً طويلاً متحملة جريانات مائية.

ويبدو أن ظاهرة (الإفراز الجانبي)، التي أثيرت لتفسير ملء العروق المعدنية، يمكن أن يُنظر فيها هنا. فالمياه التي تشرِّب هذه الصخور، محملة بالكالسيت في حالة الشيست الكلسي، وبالسيليس في حالة الشيست الغضاري، تأتي لتوضع هذه المواد في النطاقات الضعيفة من شقوق أو تكسرات قديمة ملتحمة، بظاهرة تحجُّر حقيقي.

وليس هذا مجرد نظرة فكرية. إذ أن تجارب على تجمد كتل طين وماء، قام بها الأمريكي تابر، دلَّت على أن الخليط لم يتجمد دفعة واحدة، بل هناك جنوح لتجمد الماء إفرادياً مشكلاً شبيكات صغيرة من العروق في الكتلة الطينية. ولزيادة سماكة هذه العروق الصغيرة، نكتفي بإضافة ماء في الوعاء، الذي يحصل فيه التجمد.

وقد أصبح بإمكاننا الإقرار تماماً، منذ ذلك الوقت، بأن ظاهرة تناظر قد حدثت لعروق الكالسيت في فرنسا أو المرو، الذي نجم نموه عن امتصاص حقيقي لمياه ممعدَنة.

وسنرى فيما بعد، أن بإمكان هذا الحادث إذا دفع إلى النهاية، أن يعمل على تشظية الصخور وعلى منحها سحنة صخور حطامية، يطلقون عليها إسم بريشات. إنها بريشات التسرب (*) والتشظي حسب م. جينو و م. آفنيميليش (١).

حالات أخرى خاصة، عروق رضيخية: وهي جدات قاطعة رضيخة clastie dikes أو حتاتية بالنسبة للجيولوجيين الإنكليز، وهي تكسّرات في الصخور مِلئت لاحقاً برسوبات حطامية، رملية أو متصلبة بشكل أحجار رملية ونقول بالتالي أن ليس لأمثال هذه العروق علاقة إطلاقاً مع العروق السابقة وأنها خاضعة للتكتونية. ويمكن لهذه العروق أن تكون متأخرة، أو داخلية التشكل وملؤها قد يتم من أعلى إلى أدنى، أو بعكس ذلك. وفي صخور الفحمي لداخل جبال الألب، مثلاً توجد عروق من الآنتراسيت المزحون «الغباري» في الأحجار الرملية والصخور الشيستية المغلّفة. وقد لوحظ أيضاً وجود عروق رضيخية في خلال ظاهرات سيلان التربة (٢). (انظر ص١٥٧).

(*) الاسترساب هو ولوج سوائل معدنية في طبقات صخر intrusion.

(١) ل. موريه، **بصدد طريقة تشكل «عروق رضيخية»** (أعمال مخبر جيولوجيا غرينوبل مجلد XXV، ١٩٤٦، ص٥٣).

(٢) **مجلة الجمعية الجيولوجية لفرنسا** VII، ص٢٧، ١٩٣٧.

الفصل الثالث

الصخور الرسوبية ودورة الترسُّب

١ ـ عموميات

لقد نشأت الصخور الرسوبية على سطح الكوكب وعلى العموم في الماء. وهي تتميَّز أيضاً، بأوضاعها على شاكلة سافات متتالية (طبقات)، ويقال عنها **متطبقة stratifiées** أو **متنضِّدة litées** وبوجود بقايا عضوية (**مستحاثات أو حفريات fossiles**)، بإمكانها أن تلعب دوراً كبيراً جداً في تركيبها.

ولنُذكِّر بأن العناصر الفلزية، التي تتألف منها تكون على نوعين: (انظر ص ١١٤): نوع يتأتَّى من صخور موجودة من قبل انتزعت منها العناصر الفلزية بالحت(*)، وهي العناصر **الرضيخية calstiques أو الحطامية détritiques**: والنوع الآخر تشكَّل في مكانه وأثناء التوضع أو بعده، في داخل التوضُّع نفسه، ويسمونه **بالتشكل المستجد néoformation**.

لقد حصل ترسُّب المواد الفَرِطة أو الرضيخية مباشرة بعد نقلها وحصل في أحواض

(*) حت ويقابل érosion بالفرنسية وقد ترجمت هذه العبارة إلى تعرية وتحات وتأكُّل.

بحرية أو بحيرية، مما أدّى إلى تشكل رسوبات رخوة تتحجّر، بالتصلب والتحولات الكيميائية، التي تطرأ عليها (دياجنيز أو تصخُّر) بالإضافة إلى طوارئ أخرى، فتصبح صخراً رسوبياً.

يكون معظم هذه الصخور إذاً من منشأ حطامي، ولكن سنرى أن من بينها ذا منشأ كيميائي بكلّيته أو عضوي.

وتكون متنوعة للغاية، ومن ناحية ثانية، من وجهة نظر تركيبها الكيميائي؛ إذ يمكن أن تكون كلسية، سيليسية، كبريتاتية، حديدية، فوسفاتية، فحمية ... إلخ؛ أي أنها تفتقر لتجانس تركيب الصخور الإندفاعية؛ فتصبح بهذا الواقع، أكثر صعوبة في تصنيفها بشكل عقلاني.

ولما كانت هذه الصخور سطحية المنشأ، فهي مستمرة في تشكُّلها بتأثير من ظاهرات (عوامل ديناميكية خارجية) سهلة الدراسة، ولهذا نكون على اطلاع تام عن منشئها.

I ــ عوامل ناظمة لنشوء الصخور الرسوبية

إن أهم هذه العوامل هي **الحت l'érosion** وهو الذي يجهِّز المواد التركيبية لهذه الصخور والذي يكون متبوعاً **بنقل transport** هذه المواد، ثم يأتي **الترسُّب** **فيفرِّقها**، ويصنفها وينضدها، بصورة تمنح مختلف الرسوبات «أشكالاً مسبقة» «préformes» حقيقية للصخور الرسوبية.

أ ــ الحت

الحت، بمعناه الواسع، هو مجموع العوامل الفيزيائية والكيميائية والعضوية، التي تؤدي إلى تهديم الصخور ومن ثم إلى تسوية الأراضي تدريجياً (غليبتوجينيز glyptogénèss) أو تكييف التضاريس.

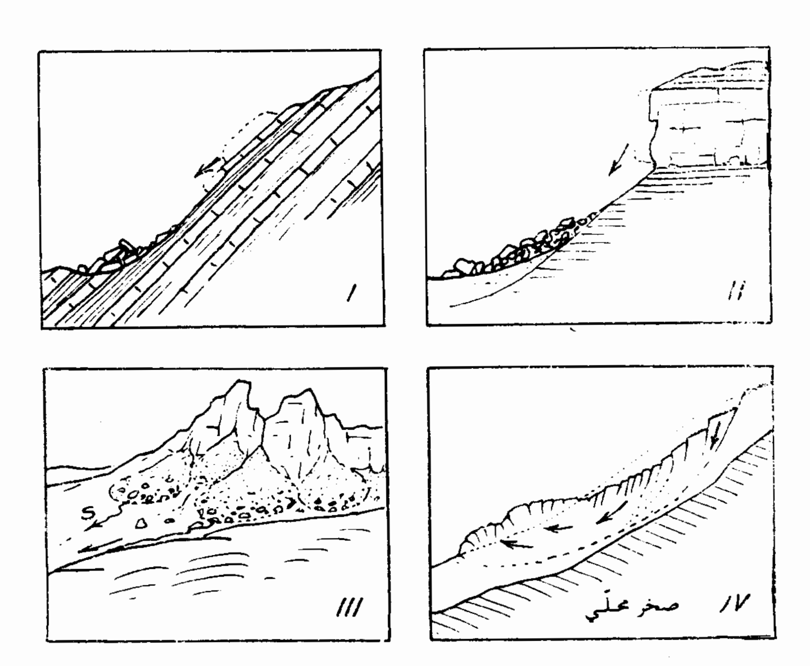
دور الماء (المياه الهوجاء، المياه الجارية). تبدو المياه دائماً، في المناطق المعتدلة، في نهاية المطاف، العامل الأكثر أهمية في تهديم الصخور. فإذا كان فعل المياه هذا، غير واضح المعالم في البلاد المؤلفة من السهول، فإنه على العكس، يأخذ مظهراً هائلاً في الجبال. فبينما لا يتساقط على سهول ضواحي باريس، مثلاً إلّا ٥٤٠ مم من ماء المطر بالسنة، فإن متوسط هذه الكمية في جبال الألب الفرنسية هو بحدود ١١٠٠ مم وحتى أنه يمكن أن يصل ١٥٠٠ مم في بعض الكتل الجبلية.

غير أن قسماً فقط من جميع المياه الهاطلة، يقدَّر له، أن يدخل في دورة الحت الميكانيكي السطحي. وفي البدء يُقدَّر، أن الثلث سيتبخر ليعود للجو، وأن ثلثاً آخر سيتسرب تدريجياً في الأرض وهذا التسرب يكون سهلاً، كلما كانت الصخور أكثر مسامية أو متشققة [1]. وأخيراً فإن الثلث المتبقي هو الذي يجري على سطح الأرض على شاكلة مياه هوجاء، تتحول إلى مياه جارية متجمعة على شكل سيول وأنهار.

وتستطيع المياه، التي تسيل أو تتسرب في شقوق الصخور منذ البداية، أن تقشرها نتيجة عمل تأثير ميكانيكي بحت، كما بإمكانها أيضاً أن تفصم السافات الشيستية أو الشيستية ـــ الكلسية أو تنسف سافات قاسية وناتئة. عندما تتم هذه الأمور على مقياس كبير تحصل انفصامات وانهيارات للجروف وتكون أحياناً ذات طابع كارثي (شكل ٦٣).

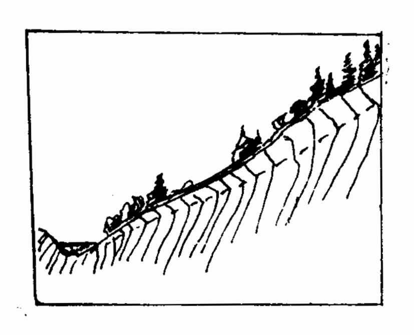
وأخيراً تستطيع طبقات عرّاها الحت على سفوح الأودية، عندما تتكشّف بشكل موازٍ لخطوط التسوية، أن تتداعى بالجاذبية، فتأخذ شكلاً معقوفاً، وهذا هو الوضع المعروف عند المهندسين باسم **جزّ المنجل أو الحصْد fauchage** للطبقات، إذ

(١) من المعلوم أن هذه المياه، بعد جريان باطني بطيء تقريباً، ومتفاوتاً في طوله، بإمكانها أن ترى النور من جديد في النقاط المنخفضة وبفضل وجود طبقات مجمِّعة كتيمة، على شاكلة ينابيع.



شكل ٦٣ ــ انحطاط الصخور I Dégradation de terrain ، انفصام في الطبقات . II ، انهيار الجرف . III ، مهيلات . s = نبع من مهيلات . IV ، انزلاق الصخور (في بلاد غضارية) .

أنه يؤدي غالباً ، بنتيجة تكسُّرات وأعمال مياه التسرُّب ، إلى انزلاقات كتلية للسفوح الجبلية (شكل ٦٤) .



شكل ٦٤ ــ الحصد أو جزّ المنجل fauchage تأرجح سطحي للطبقات على سفح واد) . المنقط ، أثر السطح الذي تحصل بموجبه تكسُّرات ، ثم انزلاق الأرض .

غير أن عمل المياه الجوية ، يتضاعف في الجبال ، بتأثير التجمد . فالماء الذي يتأتّى من السيلان أو من الذوبان اليومي للثلج يتجمد ، بالواقع في الليل في شقوق الصخور العديدة ، وتبلغ زيادة الحجم درجة كبيرة ، تجعل معها الصخر يتشظّى

تماماً، فينشطر على طريقة الإسفين إلى عدة شظايا زاويّة، تنفصل عن بعضها عند سقوط أشعة الشمس عليها، كي تتراكم عند قدم الجروف والممرات على شاكلة انفراشات ومخاريط، من المهيلات (شكل ٦٣، III). وعندما تحدث الانهيارات على سفح من الثلج أو من الخشيف névé[1]، فإن تجمع الجلاميد يأخذ شكلاً هلالياً مميَّزاً. فالصخور القاسية، الكثيرة الشقوق تتأثر بسهولة، بعمل الانجماد أكثر من الصخور المسامية؛ فيقال عنها **متجمندة gélives**.

ويكون الفعل التحطاطي، لمياه السيلان والتي يسمونها أيضاً، بالمياه الهوجاء، يكون مختلفاً جداً حسب طبيعة الصخر. فالسجح أو البتر، الذي يكون ضعيفاً على الصخور المقاومة، قد يكون شديداً على الصخور الطرية كالشيست أو المارن وعلى الصخور الهشة، كالحصويات والمورينات ويتحقق هذا النموذج من الحت على نطاق مثير للدهشة في منطقة الكابنسيه Capençais و أوباي العليا Ubaye في فرنسا، وهي مناطق تكون فيها الجبال مؤلفة في معظمها من شيست مارني كثير التشقق والمعروف باسم (أراض سوداء)، فصخور الشيست معرّاة على مساحات شاسعة ويعمل كل وابل على إنعاش التكشُّفات، التي تأخذ شكل حدبات مدوَّرة وتحدث أحياناً مسكوبات طينية هائلة في هذه الكتل الرخوة والمتشربة بالماء[2]، وذلك عندما تكون الأراضي، ذات انحدار كاف (شكل ٦٣، IV).

وتكون حركات تربة الأرض هذه، شائعة أيضاً في الأراضي الغضارية، كالمورينات[3]. ويتقدم إلحت أحياناً، في هذه التشكيلات الرخوة وغير المتجانسة، بسرعة فائقة ويترافق مع ظاهرات غريبة: كالجلاميد الضخمة المحمية القاعدة، تنتهي

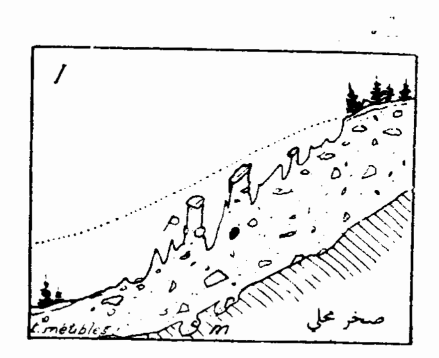
---

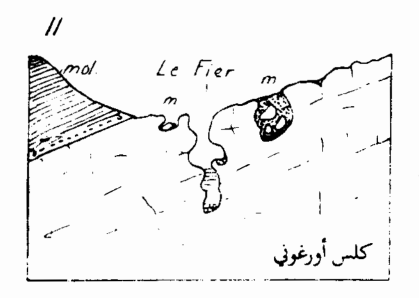
(١) الثلج الخشن بسبيل التحوّل إلى جليد.

(٢) إن تعبير جريان التربة يراد به حالياً تحولات الأراضي الرخوة بالسيلان والثقالة.

(٣) تقوم انزلاقات الأراضي هذه Soluflixion، كذلك مشابهات غريبة مع الجموديات (تشقق، جريان بطيء للكتل الطينية، نقل للمواد الانقاضية ... إلخ). يمكن لأمثال هذه المسكوبات في الألب، إذا سدّت واديا سيليا، أن تخلق بحيرات تكون أحياناً هامة. (شكل ١٦٧) (راجع ل. موريه: انهيالات في الجبل غرينوبل ١٩٤٥).

بالانعزال ، كي تقبع على هذه الركيزة معطية «مداخن الجنيّات» أو الأهرامات المقلنسة (شكل ٦٥ ، I) .



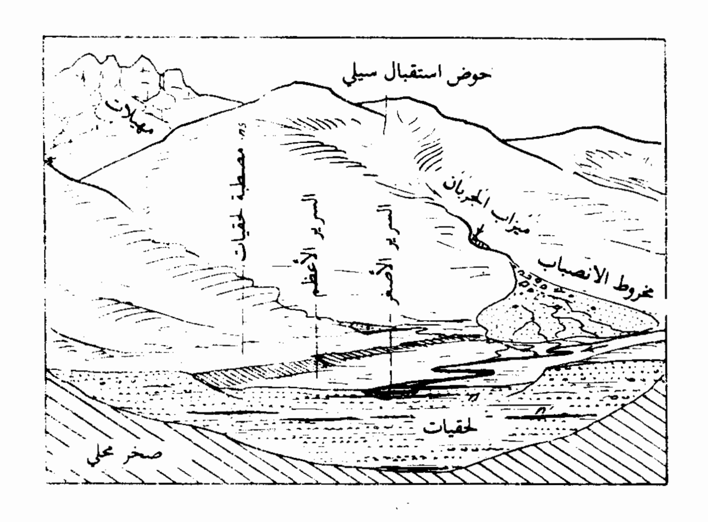


شكل ٦٥ ــ **تحطاط الصخور (قمة)** I، اهرامات الجنيات . II ، خانق في **كلس** (خوانق الفيير ، سافوا العليا) **ويتطور السيل** بقدور الجبابرة (m)، ونرى إلى القرب من السرير الحالي قدراً قديماً ملىء باللحقيات أو الطميات .

وتوجد على سفوح الجبال شبكة من ممرات صغيرة ، تسهِّل دائماً جريان المياه الهوجاء ، ولكن المياه ، على الأغلب ، تتجمع لتشكل أحواض استقبال bassins de réception سيلية ، تعمل كالجذام ، فلا تلبث أن تتنامى على أثر تخريبها هذه السفوح . ويسمح وجود ممرات لجريان المياه ، بنقل الأنقاض نحو السهل ، حيث تشيد فيه **مخاريط انصباب cônes de déjections** (شكل ٦٦) يتجول فوقها بين أدوار الفيضانات خيط رفيع من الماء . ويمكننا أن نقول : أن سيلاً ما ، يكون خطيراً بقدر ما يكون صبيبه ضعيفاً ، حتى أنه قد يكون معدوماً في فترة الجفاف . وبالواقع ، في حالة كهذه ، ولما كان حوض التغدية مؤلفاً من صخور قليلة النفوذية ، فإن كل مياه الأمطار أو المياه الناجمة عن الذوبان ، تجري على السطح محدثة أعظم الأضرار .

وتكون جميع المواد المنتزعة من الجبل والتي تتراكم على شكل مهيلات ومسكوبات وحلية ، ومخاريط انصباب سيلية تتلقفها في النهاية ، وتنقلها الأنهار حتى البحر . فإذا كانت المواد الانقاضية ناعمة (رمال ، أوحال) تنقل بحالة عكر معلق ، فإن العناصر الغليظة والزاويّة ، التي تتحول تدريجياً إلى حصباء منتظمة التدورة (صخور كتلية) أو مفلطحة (صخور ناعمة التطبق أو شيستية) ؛ فإنها على العكس لا تتحرك إلّا بتأثير التيارات القوية أو في برهة

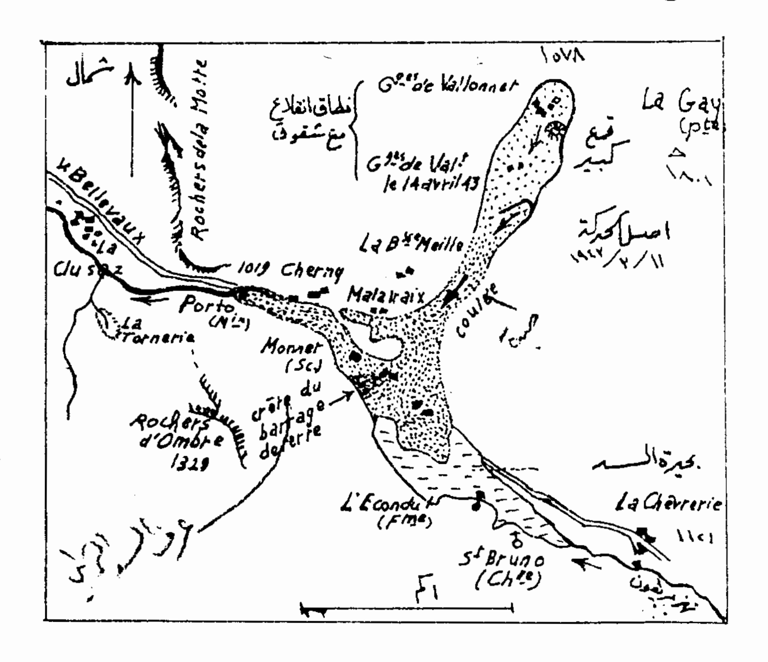
الفيضانات وهي تقفز أو تتدحرج على قاع سرير النهر . وتتوفر بعض المعطيات عن هذا « الصبيب الصلب » وبخاصة فيما يتعلق بالأنهار الألبيَّـة ، وهكذا فنهر الإيزر Isére في غرينوبل ينقل سنوياً ٣٥٣م٣ من الأوحال بالكيلومتر المربع من الحوض السفحي أو الساكب bassin versant . وفي لويش Loéche في عالية بحيرة ليمان Leman ، فإن هذه الكمية تصل فيما يتعلق بنهر الرون Rhône إلى ٦٥٠م٣ من الحصباء . وجرت حسابات كهذه لعدة سيول أخرى في الألب ، وقد سمح مجمل هذه المعطيات لِـ كولليه L.W. Collet ، عند تصحيحه رقماً قديماً ، اقترحه هايم A. Heim ، بتقدير السجح أو الكشط على السفح الشمالي للألب ؛ أي قيمة الشريحة السنوية من الصخور المنتزعة بالمياه الجارية ، بالإضافة للحت الكيميائي بمقدار ٥٧ر٠مم تقريباً ؛ أي ما يعادل متراً خلال ١٧٠٠٠ سنة .



شكل ٦٦ ــ **مخطط سيل ووادي نهري** . ن : غشاء مائي ، نَ : غشاء عميق .

قد يبقى قسم وافر من هذه اللحقيات (الطميات) النهرية ، من جهة أخرى ، في الطريق ليردم قعر الأودية وينتشر فيها ، على شكل نطاقات متطبقة تماماً ، تتناوب فيها طبقات ذات نفوذيّـة متفاوتة (حصيات ، غرين) ، مما يحقق وجود طبقات حاملة

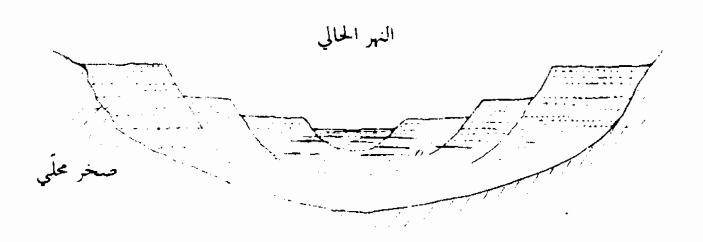
للماء(١) . ويكون لدينا في هذه الحالة ترسُّب قاري حقيقي ، كان على غاية من الأهمية ، فيما سلف . ولكن إذا ما حدث تحول في نظام النهر وذلك بتخفيض مستوى أساسه. أو إذا طرأت تعلية على منبعه ، وللحالتين المفعول ذاته ، فإن النهر يبدأ بحفر لحقياته الخاصة به ، إلى أن يتوصل إلى توازن جديد . وبعد ذلك ، فإن الإطماء قد يعود من جديد وتأتي طميات جديدة لتتوضّع أو لتتصندق في السرير القديم . وعن طريق تكرار مثل هذه السيرورة، تتشكل المصاطب النهرية المتدرجة على سفوح أوديتنا (شكل ٦٨) . ولكن قد يحدث ألّا يكون الحفر دائماً بهذا الانتظام وأن يقوم النهر بعد دور ردم يرصّع سريره الجديد إلى القرب من القديم ، فيقال : أنه يوجد فرض ؛ أي



شكل ٦٧ ـــ **انزلاق أراضي في بلفو Bellevaux** (**شابليه ، سافوا العليا**) . وقد جاءت مسكوبات الطين لتسد الوادي الرئيسي منشئة بحيرة .

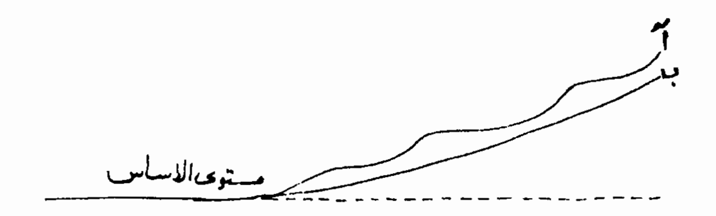
(١) من المعلوم أن الغشاء السطحي الذي يتغذى مباشرة من النهر يدعى الغشاء البئري . ولا يوجدُ هذا الغشاء طبعاً إلا عندما يقوم النهر بردم سريره . أما الأغشية العميقة فتتغذى بتسربات حاصلة بعيداً في العالية ، ولهذا كثيراً ما تكون تحت ضغط (أغشية أسيرة) وقد تكون قادرة على الصعود في أنابيب السبر . وقد يتم العثور على مثل هذه الأغشية المائية في أودية قديمة ،مهجورة تماماً من أنهارها (الأودية الميتة الألبية) .

نشوء فوقي أو أبجنة épigenie والمخطط الأولي يتقاطع هكذا مع الجديد. إن أمثال هذه الانفراضات شائعة في الأودية الجليدية الألبية (شكل ٧١، VI و ٧٢، I)، مثلاً (فرض الدراك في عالية غرينوبل). (شكل ٧١، VI و ٧٢، I).



شكل ٦٨ — واد نهري مع مصاطب متصندقة.
n، أغشية حاملة للماء.

وبالاختصار، فإن مجرى الماء يحفر في العالية، وينقل في القسم الأوسط من مساره، ويوضّع في المقطع الأخير، بحيث يشيّد تدريجياً **مقطعاً توازنياً** (شكل ٦٩). وأننا نعلم، أن الأنهار الكبيرة تصب في البحر، من خلال دلتات deltas واسعة، تكون فيها الأنقاض عامة، أكثر نعومة وذات طبقات أقل ميلاً وأكثر رقة وانتظاماً من مواد الدلتات البحيرية.



شكل ٦٩ — **مقطع طولاني لنهر** آ مقطع أصلي مع العديد من النتوءات. ب — مقطع منظم أو اتزاني

ولنضيف، بأنه إذا كان بإمكان الأنهار أن تنظّف سريرها، بفضل المواد التي تجرفها، بسرعة تتناسب طرداً مع شدة الانحدار، فإن بإمكانها أيضاً أن تفتك، هنا وهناك، بالصخور القاسية بطريقة **قدور الجبابرة marmites des géants**. وتحدث

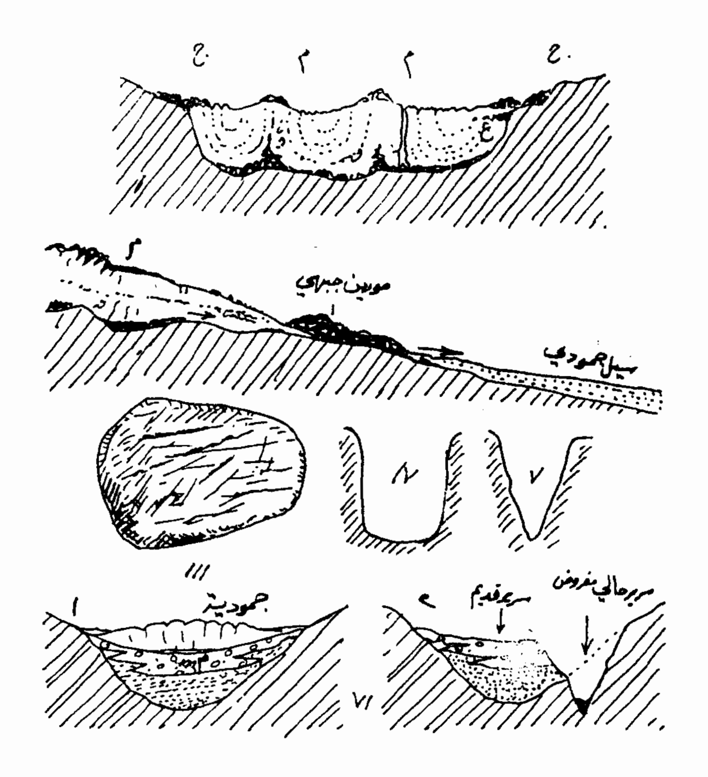
دوّامات فتجرف رمالاً وجلاميد غليظة، هذا هو حجر ومسحوق السمباذج اللذان يتداخلان وينتهيان، بنحت هذه الخوانق المتعرجة والعميقة والمألوفة من قبل السواح (خوانق فيير في السافوا العليا) (شكل ٦٥، II).

الجليديّات:

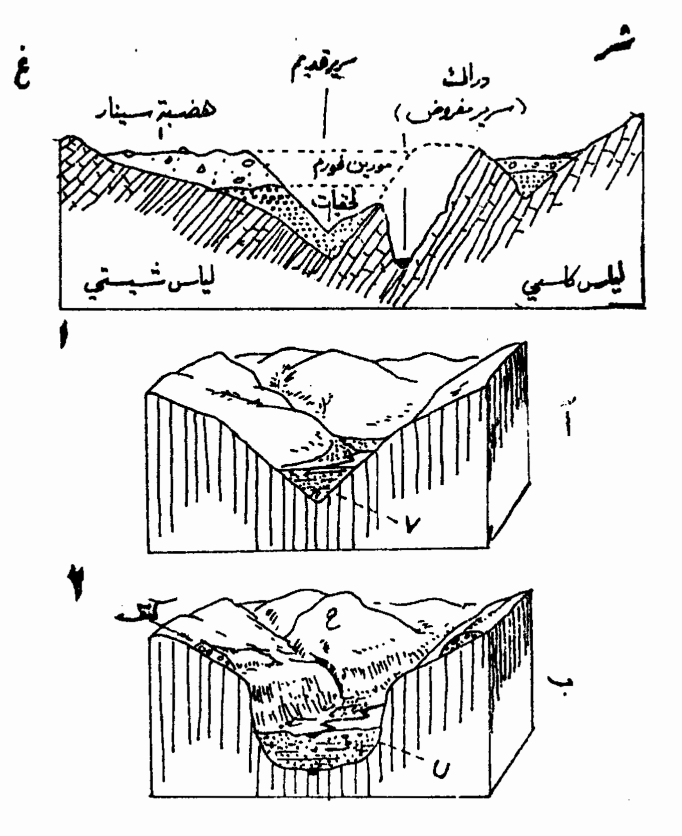
إلى جانب المياه الجارية، يجب أن نترك مكاناً للجليديات بصفتها عوامل حت. وإننا نعلم أن الثلج الطازج يتراكم بلا انقطاع على الجبال الشامخة، يتحوَّل عليها بالرص، الذي يقوم عمله على تلاحم إبر الثلج الناعمة وطرد الهواء، إلى كتلة متلبدة، ثم إلى كتلة حبيبية أو الثلج المرصوص névé ويصبح أخيراً جليداً حقيقياً شافاً ولدناً وشرائطياً يجري ببطء بواسطة الأودية تحت تأثير الضغط والجاذبية. هذا هو النهر الجليدي (شكل ٧٠). فالنهر الجليدي، شأنه بالواقع شأن النهر العادي، ينقل مواد ويحفر سريره. وتكون هذه المواد الانقاضية من عدة أنواع. بعضها الساقط من سفوح الوادي والذي يتغذى بقسم كبير منه، بالمهيلات، ويشكّل على كل جانب من الجليدية حبالاً طويلة من المواد الهشة تسمى بِـ **مورينات جانبية moraines latérales**. ويؤدي اتحاد فرعين جليديين

شكل ٧٠ ــ **جليدية أو جمودية glacier** (جبل القمة البيضاء) b، حوض تغذية مع الشق الفاصل (rimaye) عند تماس الصخر، m̄، مورينات وسطية. m″، مورينات جانبية. m‴، مورينات جبهية. t، سيل جليدي.

إلى التحام مورينات جانبية متقابلة، كي تشكل **مورينة وسطية moraine médiane**، وتنجرف جميع هذه المواد مع الجليد، فتتجمع في نهاية الجليدية على شاكلة **مورينة جبهية moraine frontale**، مقوَّسة كالهلال. غير أن هناك دوماً مورينة تحت جليدية هي **مورينة القاع moraine de fond** (شكل ٧١، f) تكون موجودة دائماً، وتتغذّى بالجلاميد، التي تهوي في الشقوق. وهذه المواد نفسها هي التي، بسبب ترصّعها في الجليد، تؤثر في سرير الجمودية الصخري، فتعمل فيه عمل الإزميل. فالسرير يتوسع



شكل ٧١ ــ **جليديات أو جموديات**. I، مقطع تخطيطي عرضاني لجذع نهر جليدي. II، مقطع طولاني للجمودية ذاتها: m، مورينات وسطية. l، مورينات جانبية. i، مورينات داخلية. t، مورينات عرضانية. f، مورينة القاع. III، حصاة مصقولة ومحزَّزة. IV، مقطع عرضاني لنهر جليدي بشكل U. V، مقطع لواد سيلي بشكل V. VI، تفسير تخطيطي لأنجنة أو للانفراض. ١، الوادي مشغول بالجليدية القديمة. al، لحقيات التقدم للسيل الجليدي. m، مورينات قاع. ٢، الجليدية انسحبت والسيل الجليدي يحفر سريره المفروض في لحقياته نفسها (قارن مع شكل ٧٢ ــ ١، انفراض الدراك، إيزير).

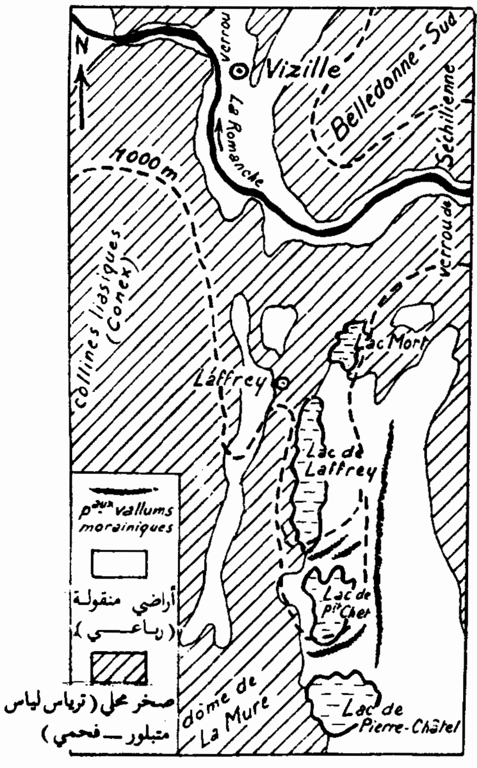


شكل ٧٢ ــ **المورفولوجية الجمودية** . I ، انقراض نهر الدراك في عالية غرينوبل . السرير القديم بين زحفين جليديين ملئ بلحقيات ومورينات فورمية (würmien)، بينما السرير الحالي، المفروض، قد حفر إلى جانب القديم (ب. لوري). II ، a ، واد نهري بشكل V . b ، الوادي نفسه بعد مرور الجليدية ، وقد أصبح بشكل U . (Gl ، مسند موريني . g ، خانق وصلي لسيل جانبي مع الوادي الرئيسي).

ويأخذ شكل معلف[1] Auge (شكل ٧٢) ، فالصخور الأكثر قساوة تصبح ملساء تماماً وتلحق بها ، بنفس الوقت ، تحززات في اتجاه تقدم الجليد (صخور ملساء وغنمية ، مخططة أو محزّزة) مع غضار ناعم، مردّه بري متبادل للجلاميد على السرير الصخري ، يسطم قاع الجليدية . ويفسر اللون المتلألئ (أغبش) لماء السيل ، الذي يبرز من لسان النهر الجليدي الختامي . وعلى الرغم من أنه كانت هناك أحياناً بعض

(١) صفة تساعد على تمييز الأودية الجليدية ذات المقطع الجانبي بشكل حرف U ، عن الأودية النهرية التي يكون مظهرها الجانبي العرضاني ، على العكس ، على شكل حرف V (شكل ٧١ ، IV و V وشكل ٧٢ ، a و b).

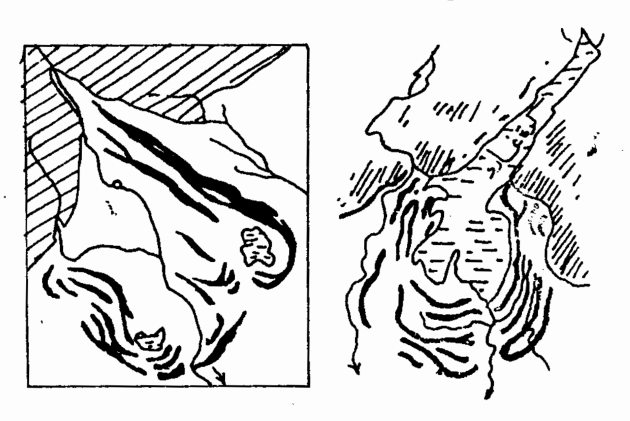
شكوك تحوم حول نجاعة الحت الجليدي ، فلا مجال لنكرانه ، فعمله مؤكد أيضاً بوجود ميول عكسية على طول السرير (استعماق) ، وأخيراً بوجود أودية جانبية معلقة . كما أن دور الجليديات ، باعتبارها عوامل نقل ، هو من جهة أخرى ، جدير بالاهتمام . وسنرى أن العصر الرابعي كان ، بالنسبة لأوروبا الغربية ، عصر طفيحات جليدية رائع وتبعثر للمواد الحطامية (مورينات ، جلاميد تائهة[1]) . وتتصف أشكال مورفولوجية هذه اللحقيات ، بأنها ما زالت أحياناً تحتفظ بغضارة بالغة والعدد الكبير من بحيرات جبال الألب وهي حصيلة سدود مورينية ، هو من مخلفات هذا الدور الجليدي (شكل ٧٣ و ٧٤) .



شكل ٧٣ ــ البحيرات الجليدية في هضبة لافري (إيزير) . فرع من جليدية الرومانش (خطوط غليظة متقطعة) طفح من خلال عتبة لافري أثناء الزحف الفورمي . وفي حين انسحاب الجليد ، ترك موريناً كبيراً جانباً وعدة مورينات على شكل أهلة مقعرة نحو السافلة أو فاللوم (vallums) في قاع الوادي (الذي أصبح وادياً معلقاً) سهلت تجمع مياه ذوبان الثلج ، التي منها نشأت البحيرات . أما المضائق الصخرية ، في الوادي الرئيسي (مزاليج verrous) التي كانت تكبح الجليدية ، فقد اجتازها نهر الرومانش بخوانق .

(١) « الحصبة الغليظة » في لكروا روس في ليون ، هي جلمود مجروف مؤلف من كوارتزيت نقلته إلى هنالك ، جليدية نهر الرون القديمة ، وفي لينينغراد ، تكون ركيزة التمثال الخيّال لبطرس الأكبر ، هي جلمود مجروف من غرانيت يزن أكثر من ١٥٠٠٠ طن جاء من مناطق فنلندا الشمالية ، وجلمود قلعة الباستيل الضخم ، في غرينوبل ، مؤلف من حجر رملي يعود للفحمي متروك من قبل جليدية نهر الإيزير .

الحت البحري : يلعب البحر دوراً هاماً في تهديم القارات . فالراشق (ressac) المستمر وبخاصة الأمواج العاتية ، التي ترفعها العواصف تؤدي كلها إلى تراجع الجروف تدريجياً . فتتقوض من أسفلها بالمياه المشحونة بالرمال والحصى وتُحفر مغاور وينهار الصخر ، الذي يطل عليها من الأعلى في النهاية مشكلاً تجمعاً فوضوياً من الجلاميد (شكل ٧٥ ، I) .

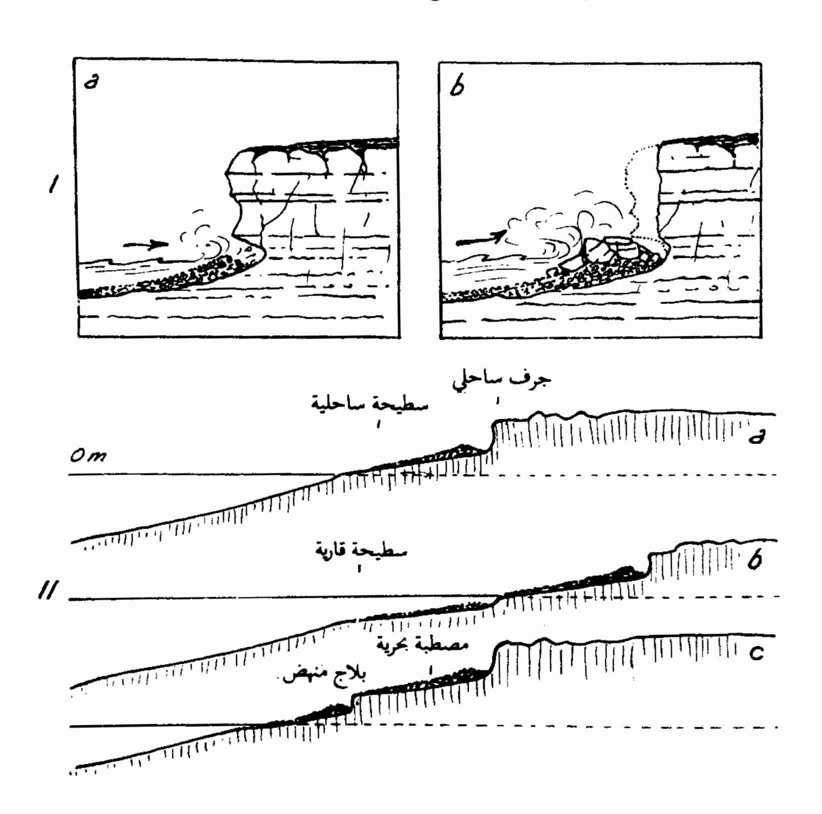


شكل ٧٤ ـ **أمثلة عن حلبات مورينية رابعية** . I ، الحلبة المورينية (شطبات غليظة سوداء) وبحيرات إيفري (بييمونت) . II ، حلبة مورينية لبحيرة غارد (عن بينك) .

ويترافق هذا التراجع ، مع نشوء سطيحة ساحلية ، قد تمتد حتى عمق ٢٠٠م تقريباً ، تتراكم عليها أنقاض هذا الحت وتصنَّف : حصى ، رمال ، أوحال . والأمواج التي تنطلق لمهاجمة الجروف (شكل ٧٥ ، II ، a و b) عليها أن تجتاز هذه السطيحة نفسها . وبقدر ماتكون هذه السطيحة واسعة بقدر ماتُمتص طاقة الأمواج بالاحتكاك . ولهذا كان لا بد من أن تأتي برهة ، يتوقف فيها عمل الحت البحري نتيجة قيام حالة توازنية مشابهة لحالة مجرى نهر . إلّا أن هذه الحالة ، يمكن أن تنتهي إما بخفس الشاطئ أو بنهوضه . فالسطيحة ، في الحالة الأولى ، تنغمر بكليتها وتأخذ بالاتساع من جراء استئناف الحت ، فتنشأ على هذا النحو الهضبة **القارية plateau continental** ، التي تميِّز بوضوح بعض الشواطئ وبخاصة شواطئ الأطلنطي . وفي الحالة الثانية ،

ونضيف إلى ذلك أنه منذ ٢٠٠ عام تقريباً ، ومن جرّاء تحولات مناخية ناجمة عن زيادة الحرارة الوسطية ، أصبحت الجليديات (بما فيها جليديات المناطق القطبية) في تراجع واضح على سطح الكرة .

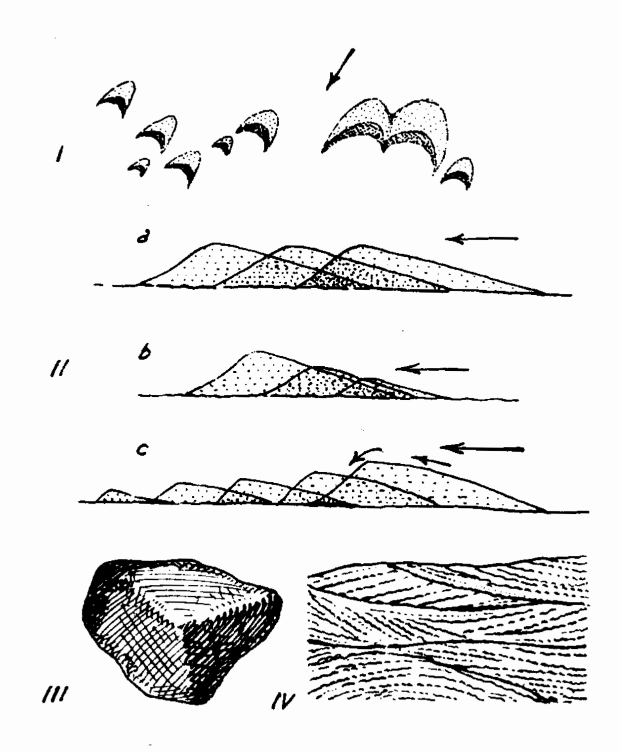
يقوم البحر بحفر لحقياته الخاصة به وبتعزيلها ويشكل المتبقي منها مصطبة بحرية أو بلاجاً مرتفعاً ، باتجاه الأرض الثابتة (شكل ٧٥ ، c,II) .



شكل ٧٥ ــ **الحت البحري** . I ، هجوم وتقويض تدريجي لجرف كلسي من قبل البحر . الجرف ينتهي بالانهيار (b) من جراء تقوض قاعدته بالأمواج (a) . II ، تطور الشواطئ . a ، تشكل السطيحة الساحلية . b ، تشكل الهضبة القارية بتقهقر الشاطئ تدريجياً . c ، تشكل بلاج منهض ومصاطب بحرية من جراء نهوض عام .

فعل الحرارة : قد يحصل تهدُّم الصخور بالعوامل الجوية أيضاً ، في المناطق ذات المناخ الحار والجاف والمحرومة من الماء كالصحاري . وهكذا ، فإن المفارقات المفاجئة للحرارة بين النهار والليل أو التشمس كافية لإثارة **تقفع** أو **تقشر حقيقي desquamation** للصخر وحتى أحياناً إلى **تشظيات** الجلاميد أو الحصباء والمصحوبة بفرقعة .

فعل الريح: ويكون فعل الريح هذا أيضاً، أكثر وضوحاً في المناطق الصحراوية، فريح مسيطر وعنيف بما فيه الكفاية، بوسعه تنظيف سطح واسع ومستو تنظيفاً كلياً عن طريق إزاحة جميع الأنقاض الصخرية وغيرها من حاصلات التفكك، التي تغطيه (تذرية déflation). وهكذا، فالريح المشحون بالرمل والغبار ينحت التكشفات الصخرية ويصقلها، تاركاً الأقسام القاسية بارزة، أما الحصى المنثورة على الأرض، فتصاب هي نفسها بالبري والنقش بهذا **التخريش corrasion** وتأخذ مظهراً مميَّزاً (حصى ذات وجيهات، شكل ٧٦، III)، صخور دودية الشكل)، أما ما يتعلق بالأنقاض المنقولة، فإنها تشكل **كثباناً dunes** (شكل ٧٦)، وهي تلال صغيرة مؤلفة من رمل متناثر هنا وهناك، يأخذ على الأغلب شكل أهلّة، وتوجد



شكل ٧٦ ــ **فعل الريح**. I، كثبات بشكل أهلّة (مستوي) (ضواحي بخارى). II، تقدم الكثبان (مقطع). نماذج مختلفة حسب ما تكون كتلة الرمل، قد بقيت ثابتة (a)، تنامت (b)، نقصت تدريجياً (c). يشير السهم على اتجاه الرياح السائدة. III، حصاة ذات وجيهات. IV، بنية بتطبق متصالب للرمال الكثبانية.

بكثرة في الصحاري وعلى الشواطئ المنبسطة. وهذه الأخيرة، بخاصة، تسعى إلى التنقل في اتجاه الريح المسيطر. وهذا الترسب الريحي يترافق بتطبق من نموذج متقطع ومتصالب مردّه تغيرات في اتجاه الرياح (شكل ٧٦، IV).

ويتمكن الريح أيضاً من نقل غبار بركاني. فانفجار كراكاتوا الهائل، عام ١٨٨٣، بدّد في الجو أكثر من ١٨مليار متر مكعب من الرماد توزّع على مساحة ٧٥٠٠٠٠ كم٢.

التأثيرات الكيميائية

لا تحل المياه النقية سوى الأملاح القلوية، كلورورات، كبريتات وكربونات، مما يفسر التلاشي الشائع لمكامن الملح الصخري أو أملاح البوتاس غير المحمية بطبقة كتيمة.

لكن عندما تكون المياه مشحونة بأملاح أو عندما تحتوي على حمض الكربون المستمد من الجو، فإنها تصبح قادرة على إذابة أو تفسخ أجسام، عُرفت بأنها غير ذوابة أو ثابتة، مثل الكلس والسيليس. لقد مرَّ معنا (ص١٦٣)، أنه يمكن لجبال شاهقة من الغرانيت، أن تتهدم على السطح نتيجة حلمأة الصفاح (hydrolyse). وسنرى فيما بعد أن الكلس (كربونات الكالسيوم) والجبس (كبريتات الكالسيوم) معرضان أيضاً لهذه الأفعال وأن الانحلال الجزئي لهذه الأجسام، الذائعة الانتشار كثيراً في الطبيعة، يترافق بتخريش الصخر (**لابياز Lapiez**) ويؤدي أيضاً لتشكل فراغات (تجاويف واسعة، سراديب) في القشرة، بإمكانها إتاحة الفرصة لظاهرات ميكانيكية (انهيارت أو **جوبات أو دولينات**) من شأنها تسهيل هدم الصخور. فالأنهار تحمل سنوياً إذاً أطناناً من المواد الفلزية المنحلة نحو البحر.

فنهر الإيزير في غرينوبل، يحمل على هذا النحو ٢١٧٠طناً من المواد المنحلة وقد أمكن حساب ما تنقله المياه العذبة سنوياً على هذا الشكل إلى البحر فوجد أنه يزيد عن ٦٢٥مليون من الأطنان من الكلس (مـوّراي Murray).

ونضيف على ما تقدم بأن المياه هي أيضاً مسؤولة عن ظاهرات الإماهة، كتلك

التي تؤدي إلى تحويل بلاماء كبريتات الكلس (آنهيدريت) إلى جبس (كبريتات مائية) والتي تترافق مع زيادة في الحجم، بحيث أن الطبقات الصخرية المغلفة تصيبها التواءات وتتخلع بشدة.

وتعمل المياه أيضاً على تفسخ البيريت بالأكسدة معطية كبريتات الحديدي ومن ثم الهيدروكسيد. ومن هذا المنطلق يمكننا تفسير الاحمرار السطحي للرسوبات، التي تدين بلونها الأزرق إلى وجود البيريت المجّزأ للغاية. ومن الملاحظ أن أكسدة أملاح الحديد في الأقطار الحارة تعطي بلاماء أوكسيد الحديد النصفي بلون أحمر قان، بينما ينشأ في المناخات المعتدلة الهيدروكسيد؛ أي الليمونيت الأسمر «المغرة» ويفسر بهذا الواقع اللون الأحمر القرمزي الجميل لبعض الرسوبات من منشأ شبه مداري أو صحراوي. ومن جهة ثانية، فإن الطلاء الذي يكسو عدداً كبيراً من الصخور في ابلاد الصحراوية مردّه أيضاً الأكسدة المستمرة لأملاح الحديد والمنغنيز الموجودة في مياه التبلُّل، التي عادت ثانية إلى السطح بالتبخر أو بالخاصة الشعرية.

وأخيراً، فإنه من جراء ظاهرات الأكسدة أيضاً، التي تمارس على مواد هيدروكربورية هنا، يتشكل التخثر الترابي الأبيض الناعم السطحي (طلاء) لبعض الصخور الكلسية الغضارية، التي تدين بلونها الضارب على الزرقة إلى وجود هذه الأجسام.

التأثيرات العضوية

تتدخل المتعضيات في إفساد الصخور وتفكيكها وفي تشكل الترب، لتكتسب أهمية من واقع استمراريتها وعموميتها.

وتكون بعض البكتريات (**نيترومونا**) في طليعة ظاهرات النترجة، التي تحدث على سطح الأرض. فالنترات (مثلاً: نترات البوتاسيوم أو ملح البارود) والنتريتات تتشكل بوساطة الآزوت، المستمد مباشرة من الهواء، بوساطة المتعضيات المجهرية وعناصر فلزية من الأرض. وفي وسط كلسي، تحصل آزوتات الكالسيوم وفي وسط بوتاسي (صفاح متفسخ)، فتتشكل آزوتات البوتاس (ملح البارود). أما مكامن

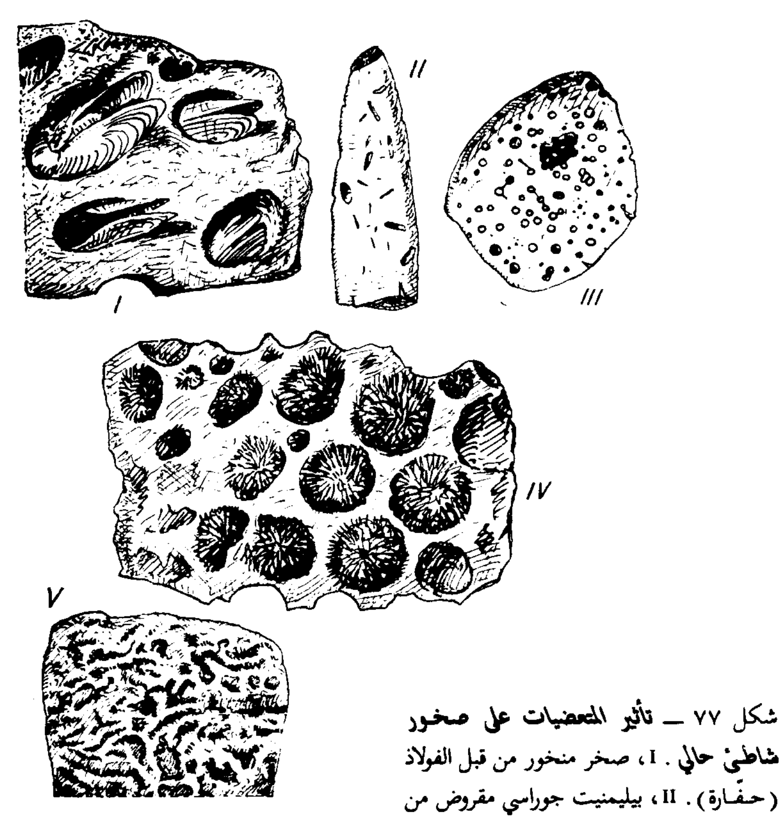
الشيلي الشاسعة، فإن نترات الصوديوم، تنجم فيها عن تدخل مياه البحر على أكوام من نترات الكالسيوم. فقد عثر على هذه الجراثيم في الصخور المتفسخة وأمكنت البرهنة على كونها السبب الرئيسي في أكثر الأحيان لهذا التفسخ.

وإننا نذكر أيضاً، من بين النباتات الدنيا، التي تساهم في فساد الصخور، الأشنات Lichens، الحزازيات Mousses، وبخاصة الطحالب Algues. وهذه الأخيرة هي كلها منشطرات Schyzophycées ثاقبة وناخرة، ذات مشَرَة Thalle خيوطية تهاجم القواقع، الحصى، صخور الشواطئ، فتوسعها تثقيباً إلى أن تنتهي بتفتيتها. وقد توضح الدور التخريبي لهذه المتعضيات أيضاً في البحيرات، كما وفي المياه البحرية (شكل ٧٧، V).

ويوجد من جهة أخرى، عند الحيوانات رتل كامل من أشكال آكلات الصخور: فولاد، ليتودوم، قنافذ البحر، حلقيات، إسفنجيات. ولما كان الإسفنج، الذي يعود إلى زمرة الكليونات (Cliones) يكثر في النطاقات الساحلية لشواطئ المانش الكلسية، حيث يعتبر مع الليكودور والبوليدور (حلقيات كثيرة الأوبار Annélides Polychètes) فهو من العوامل الهامة في تفتيت الصخور (شكل ٧٧، I-IV).

ب ـــ الترسُّب

لاحظنا وجود ترسب، بإمكاننا وصفه بالقارّي، وهو مدين بوجوده للأنهار (مصاطب نهرية). للجموديات (مورينات) والريح (كثبان). وقد حفظت الأنقاض العضوية في هذه التشكيلات بشكل رديء (قواقع مهشمة). وجلّ ما نجده فيها عبارة عن عظام فقاريات مدحرجة. وسنهتم الآن بالترسُّب المائي، الذي يعتبر دوره في تشكل الصخور الرسوبية أهم بكثير. فمشاركة الحياة ستكون شائعة فيه، كما أن البقايا العضوية ستكون في أكثر الأحيان غزيرة فيه. وعلينا هنا أيضاً أن نأخذ بالحسبان، كما هو في الحت، وسواء كان يتعلق بالترسُّب البحيري أو الترسُّب البحري، الذي هو أكثر قوة بكثير، التأثيرات الميكانيكية والكيميائية أو العضوية. فهذه قد تقوم بعملها منفردة، أو على العكس، تعمل على توحيد وتنسيق أفعالها.



شكل ٧٧ ــ تأثير المتعضيات على صخور شاطئ حالي . I ، صخر منخور من قبل الفولاذ (حفّارة) . II ، بيليمنيت جوراسي مقروض من قبل حلقيات . III ، قوقعة بكتونكل مقروضة بإسفنج ناخر (كليون) . IV ، أعشاش قنافذ البحر محفورة في صخر . V ، حصاة منقوشة من قبل طحالب ناخرة (بحيرة مور ، إيزير) .

الترسُّب البحيري

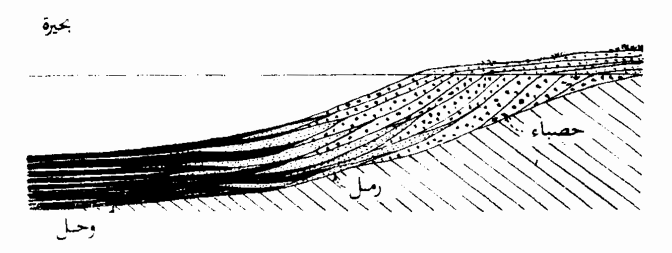
يتغذى هذا الترسب بمياه الجريان وبخاصة المجاري المائية ، التي تأتي على فرش لحقياتها فيها على شكل دلتات تحت بحيرية (شكل ٧٨) . وينتهي الأمر بهذا الترسُّب الخشن ، بغمر حوضة البحيرة وهذا ما تنتهي إليه بحيرات الألب . غير أنه ، إلى جانب هذا التركيم الحطامي الساحلي ، يوجد ترسُّب أنعم وأعمق في البحيرات .

وتكون سرعة هذا الترسب في البحيرات ، حسب كولليه (L. W. Collet[1])

---

(١) L.W.Collet ، البحيرات . مجلد ١ ، ٣٢ص ،. باريس ١٩٢٥ .

منوطة بتركيب الحوض جيولوجياً، ونظام الأمطار (التي تؤثر على الصبيب الصلب في الأنهار، التي تغذي البحيرة) وبحرارة الماء (المياه الباردة تحتفظ بموادها الناعمة معلقة لمدة أطول). ففي بحيرات إيقوسيا (بريطانيا)، التي جرت دراستها بدقة من هذه الناحية، تتوضع عادة رمال مع غضار وأوحال حديدية سمراء ونادراً أوحال ذات مشطورات، ورسوبات كلسية وطين أحمر، بلون المغرة. ويرتبط هذا الترسب بلا شك بندرة التشكيلات الكلسية لهذه المناطق. وعلى العكس في جبال الألب، حيث تكون هذه الصخور أكثر انتشاراً، فإننا نجد أن المياه، التي تغذي البحيرات تحتوي على كلس منحل ويصبح مظهر الترسُّب البحيري مختلفاً عن السابق.



شكل ٧٨ ــ **الإطماء (تكوّن الطمي) في البحيرات.**
مقطع تخطيطي لدلتا بحيرية.

وهكذا تكون الرسوبات العميقة فيها، بحالة حوّار بحيري يتسارع توضّعه بالفعالية الكيميائية الحيوية لبعض المتعضيات وبخاصة الطحالب. ويمكن لهذه التوضعات، من جهة ثانية، أن تأخذ مظهر تخثرات شبيهة بالدماغ. وفي المناطق الضحلة يكون التوضع هو الطف البحيري. وقد لوحظ في بعض البحيرات السويسرية (بحيرة زوريخ، بحيرة جنيف)، أن الطين العميق وهو على الأكثر غضاري كلسي له مظهر تطبق ناعم دقيق، وهو في بحيرة زوريخ ذو تطبق فصلي له شكل **أحزمة أو رقائق موسمية** **varves** وتعطي سافين في كل عام: ساف أسود شتوي (غزارة في المواد العضوية وكبريت الحديد) وساف رمادي فاتح صيفي، غني بكربونات الكلس وبعناصر ناعمة حطامية. وفي بحيرة جنيف تتوضع حالياً أوحال شرائطية، وهي **رقائق موسمية** حقيقية والترسب هذا فيها منوط بمجلوبات نهر الرون، وهو نهر ذو

نظام جليدي بجوهره، وتمتد دلتاه تحت البحيرية في عالية البحيرة. وإننا نعلم أن أمثال هذه «الفارفات» أو الرقائق الموسمية أو الأحزمة قد أشير إليها في عدد من التشكيلات الرابعية، الناجمة عن توضعات في وسط بحيرات السد الجليدي أو بحيرات ما بعد الجليديات وأنها استعملت في البلاد الاسكندينافية كمقايت (كرونومتر) زمنية جيولوجية.

وفي بعض بحيرات ألمانيا الوسطى، وهي بحيرات غنية بالهائمات أو العوالق النباتية phytoplancton، يمكن أن تنشأ فيها وحول (حمأ) عضوية معروفة تحت اسم سابروبل أو حمأ (أوحال نتنة) sapropèles. فهذه السابروبل تأخذ، عندما تجف، قواماً مرناً، فتتحول إلى مادة حمرية، مما يجعلنا نأخذ فكرة عن كيفية تشكل بعض الصخور الحمرية (bitumineuses). وأخيراً فإن نمط الترسب العضوي الأكثر وضوحاً في مياه عذبة نراه محققاً في البحيرات الضحلة الفحمية العائدة للعصر الكربوني، حيث تشكلت التجمعات النباتية المقـدَّر لها أن تتحول إلى فحم حجري. إننا لا نعلم مطلقاً، في الوقت الراهن، ما يعادل تماماً هذه البحيرات الضحلة، إذ لا تستطيع المستنقعات الحراجية للبلطيق أو مخثات (Tourbières) (أراض يكثر فيها الـخُـث أو الطورب) ذات السرو الأقرع (الذي تسقط أوراقه كل عام) في فيرجينيا إعطاءنا أكثر فكرة بعيدة جداً عن الواقع.

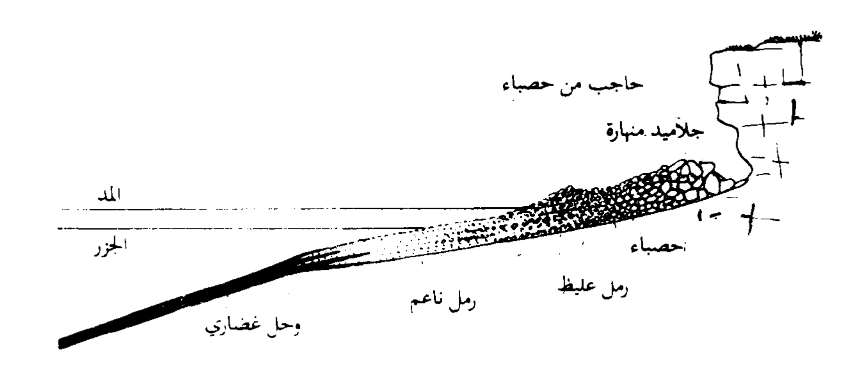
الترسُّب البحري

تصدر المادة الأولية لهذا الترسيب من الحت البحري، غير أنها تتأتَّـى بخاصة، من المجلوبات الصلبة للأنهار، وتتألَّـف هنا من أوحال أو رمال المصبات الخليجية الكبيرة والدلتات[1]. وتتحول جميع هذه المواد الانقاضية، التي تتقاذفها الأمواج من جديد، وتسحقها بلا انقطاع، تتحـوَّل إلى عناصر تزداد نعومتها بالتدريج لتفرش فوق السطيحة الساحلية، حسب ترتيب معين له صلة بدرجة سحقها. وهكذا، فإنه

(١) تنقل الأنهار على هذا النحو كمية كبيرة من المواد بشكل عالقات تقدر تقريباً بـ ١٥ إلى ٢٠ مرة أكثر من تلك التي ينتزعها البحر مباشرة من القارات.

يلاحظ بالتتالي، على طول شاطئ محفوف بجروف غرانيتية، واعتباراً من تكديس جلاميد زاويّة متأتية من تقويض الجروف وشريط من الحصى، ثم رمال تزداد نعومة بالتدريج وقد تشكلت على حساب العنصر الصخري الأكثر قساوة ؛ أي المرو ، وأخيراً أوحال غضارية لا يحصل توضعها إلّا في عرض البحر ، في الأماكن التي يتوقف عندها خضُّ المياه (شكل ٧٩). غير أن لجميع هذه التوضعات تركيب كيميائي مرتبط مباشرة بالطبيعة الجيولوجية للقارة، التي نشأت التوضعات المذكورة على حسابها. ولهذا، فإن الأوحال الغضارية تكون أحياناً موزعة بعيداً عن الشاطئ (حتى ٢٥٠ كم من السواحل) وعلى أعماق كبيرة، فهي ما زالت أيضاً مجتمعة مع الرمال والحصباء، وهي رسوبات **ساحلية** بجوهرها ومشكلة بين حدود تأرجح المد والجزر، ومعروفة على العموم تحت إسم **رسوبات قارية المنشأ Terrigénes** .

وإذا توغلنا في عرض البحر ، فلا يبقى من التوضعات سوى الجزيئات الأكثر نعومة، وتكون عادة من طبيعة سيليسية ــ غضارية أو عضوية (قواقع متعضيات عائمة، بيلاجية) يستغرق توضعها زمناً طويلاً للغاية. وهذه العناصر ، التي تكون مفقودة غالباً في البحار المغلقة كالمتوسط، تفرش القسم الأكبر من قاع المحيطات، وتؤلف **الرسوبات البحرية sédiments pélagiques** .



شكل ٧٩ ــ تقويض جرف غرانيتي وتوزع الأنقاض الناتجة عند حافة البحر .

وهكذا تكون السطيحة الساحلية (شكل ٧٥) إذاً مقرّ الرسوبات الغليظة، وتساهم الحياة بقسط وافر في هذا الترسب (حيوانات قارضة الصخور، سافات من القواقع، وأرصفة من البوليبات المرجانية من معويات الجوف)، إذ هناك أيضاً تتجلى الحياة مع أكبر حيوية مفرطة بسبب اختراق الضوء. وإننا ندعو هذا المجال حسب هوغ Haug بـ **منطقة قوقعية** **région néritique**، وهي تقابل توضعات تشكلت على عمق أقل من ٢٠٠م[1]. وقد تشكل القسم الأعظمي من الرسوبات الجيولوجية في هذا النطاق.

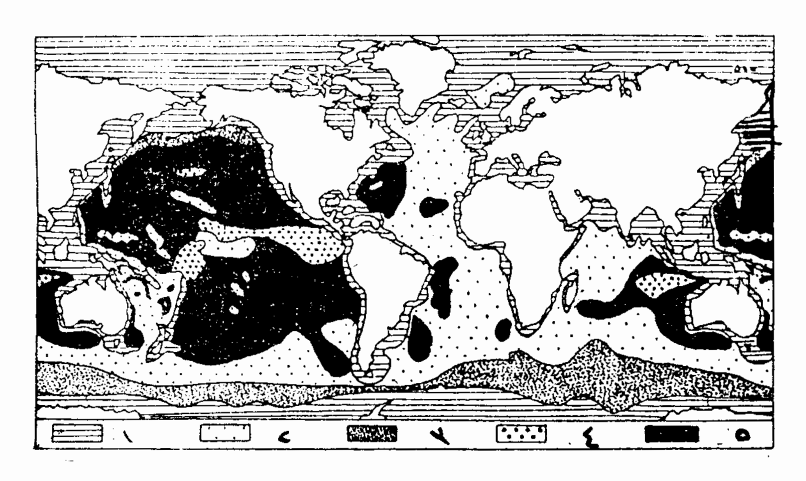
ويكون هذا النطاق القوقعي محدوداً نحو عرض البحر، كما مرَّ معنا، بنطاق من الأوحال القارية المنشأ واسع الانتشار أحياناً. وقد علمتنا الحملات العلمية المحيطية وبخاصة رحلة **شالانجر** المشهورة، علّمتنا أن نميِّز في هذه الرسوبات عدداً من الأنواع (شكل ٨٠). **فالوحول الزرقاء** الأكثر انتشاراً مؤلفة من جزيئات ناعمة غضارية ومن متعضيات سيليسية، وهي مدينة بلونها لوجود كبريت الحديد الشديد التجزّؤ والذي يتأكسد في الهواء مع إطلاق H_2O ومتخذاً لوناً أحمر، وتكثر هذه الأوحال في البحار المغلقة. وتنتشر **الوحول الحمراء**، الملوَّنة بوجود مغرة حمراء (هيماتيت)، بخاصة عند مصبات الأنهار الكبيرة المدارية. وتكون **الوحول الخضراء** أو الغلوكونية أكثر الرسوبات ساحلية وتكون على الأغلب رملية وتحتوي على تخثرات من فوسفات الكلس. وتكثر **الوحول البركانية** إلى القرب من الجزر المحيطية البركانية. وأخيراً هناك **الوحول المرجانية**، ذات اللون الفاتح دائماً، إذ أنها كلسية بجوهرها، مؤلفة من بقايا دقيقة منتزعة من الأرصفة المرجانية، ومن حيث الانتشار، فإنها تأتي بعد الأوحال الزرقاء (٧ ملايين كم² تقريباً).

ويمكن لبعض هذه الأوحال أن يصل إلى الأعماق الكبيرة، غير أن معظمها يفرش الطرف شديد الانحدار العائد للهضبة القارية والتي يتراوح عمقها بين

---

(١) حد تقريبي لاختراق الضوء الشمسي. وبعد ذلك تتلاشى إذاً النباتات والحيوانات آكلات العشب (العاشبة).

متصلّبة ليست بالمكافئة لها تماماً. لقد عثر كايّو Cayeux على أعداد كبيرة من ٢٠٠ و ١٠٠٠م. وهذا النطاق، هو الذي يقابل **المنطقة العميقة bathyale** لهوغ Haug وهي المنطقة، التي يبدو أنها تسجل العمق الأعظمي للرسوبات الجيولوجية، التي ندعوها بالعميقة.[1] (شكل ٨١).



شكل ٨٠ ـــ **توزّع عالمي للتوضعات البحرية.** ١، توضعات قارية المنشأ (أوحال زرق، خضر، مرجانية، بركانية... إلخ). ٢، توضعات كلسية (أوحال ذات غلوبيجرين، وذات مجنحات الأقدام). ٣، وحل ذو مشطورات. ٤، وحل ذو شعاعيات. ٥، غضار الأعماق الكبيرة الأحمر.

أما ما يتعلق بنطاق الرسوبات البيلاجية (البحرية)، المميَّزة بغياب أو بندرة عناصر قارية المنشأ، فيمكن القول بأنها تقابل إجمالاً **المنطقة الشديدة العمق** أو **ذات العمق السحيق région abyssale** حسب هوغ، والتي لم تتشكل توضعاتها إلّا تحت ألف متر، وتكون الرسوبات البيلاجية الحالية، غنية بهياكل المتعضيات الكلسية أو السيليسية.

وهكذا فإن **الوحول ذات الغلوبيجرين**، التي تميِّز بخاصة المناطق الحارة تحتوي على **أعداد لا تحصى** من القشور الكلسية العائدة لهذه المنخربات الصغيرة (٣٠ إلى

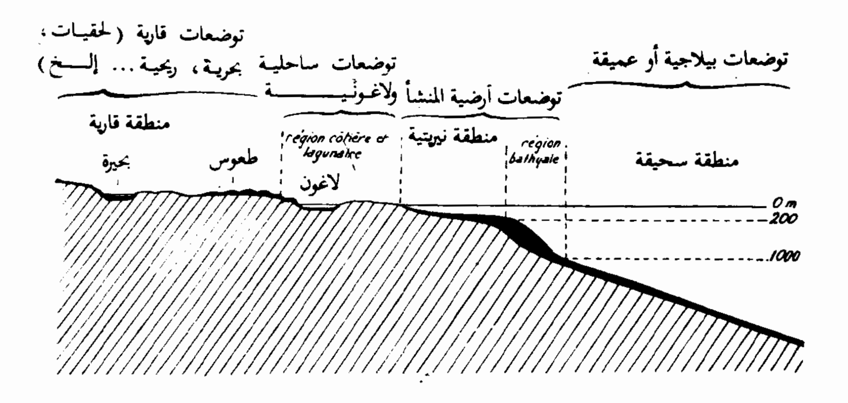
(١) يجب **أن تكون** الرسوبات هناك أيضاً قد بلغت حدّها الأعظمي من السماكة (انظر فيما بعد).

٩٨٪ من Ca^3Ca)، وهي ترقد بين ٧٠٠ و ٥٠٠٠م. وغالباً ما تكون من جهة ثانية مجتمعة مع أوحال حاوية على قواقع رخويات صغيرة بيلاجية، مثل مجنحات الأقدام (**وحول ذات مجنحات الأقدام vases à ptéropodes**) وهناك **وحول ذات المشطورات vases à Diatomées** تميّز المياه قليلة الملوحة للمناطق المحيطة بالمناطق القطبية، وتكون غضارية وتتألف بخاصة من (frustules) أغلفة هذه الطحالب الصغيرة السيليسية (٣٠ إلى ٩٠٪ من SiO^2). وهناك تشكيلات أخرى سيليسية تتمثل **بوحول ذات شعاعيات Radiolaires**، غنية بالقشور السيليسية لهذه الحيوانات الأولية وكذلك بشويكات الإسفنج السيليسية، التي نصادفها على الأرجح لدى الاقتراب من خط الاستواء. وجميع الرسوبات، التي أتينا على ذكرها مدينة إذاً بقسمها الأكبر إلى غزارة المتعضيات الطافية البلانكتونية (العوالق) ولهذا يطلق عليها في الغالب، إسم رسوبات هائمية أو عوالقية المنشأ (planctogènes) وهذه الصفة تتلاشى في **غضار الأعماق الكبرى الأحمر** وهي تشكيلة تفرش أكبر الأعماق الكبيرة المعروفة ما بعد ٤٠٠٠م (المحيط الهادي). وعلى مساحة تعادل على الأقل ربع المساحة الإجمالية للكرة الأرضية ويبدو أن هذا الغضار الأحمر، ناجم عن فساد المواد البركانية وعناصر قارية المنشأ ناعمة للغاية، فهو يحتوي على آثار من الكلس، من أصل عضوي، لا يلبث أن يصبح وحلاً كلسياً. وقد جلبت عمليات التجريف طبلات أذنية، تعود للحيتان وأسنان كبيرة تعود لجنس منقرض من سمك القرش (**Carcharodon**)، مما يثبت أن وجود هذا الغضار هناك منذ زمن قديم جداً[1].

ويبدو أنه من غير المحتمل أن تكون رسوبات الأعماق سحيقة كهذه معروفة في زمرة الصخور الرسوبية التي تقدمها لنا الجيولوجيا ولعلّ السبب في ذلك يكمن في أن أعماق المحيطات الكبيرة كانت دائماً في الموقع ذاته وأنها تكوّن سمة دائمة لوجه الأرض.

ليس الحوّار الذي تمكنوا من مقارنته مع الأوحال ذات الغلوبيجرين، بمكافئ لها وكذلك بعض صخور الشعاعيات التي ارتأوا اعتبارها أوحالاً قديمة ذات شعاعيات

(١) من المتفق عليه أن هذا الغضار الأحمر يتوضع بمعدل ٧م في كل ألف سنة.



شكل ٨١ ــ مصوّر تخطيطي للترسيب القاري والبحري.

العلاقات بين المناطق التبيئية «الثنائية التسمية» bionomiques البحرية والتوضعات التي تصادف فيها.

الفلزات، قارية المنشأ بأصلها في الحوّار، مما يدل على وجود أرض يابسة قريبة من تلك، ويقدر هذا الجيولوجي أيضاً إلى أن الحوّار لم يتشكل على عمق يزيد عن ٣٠٠م، وهو استنتاج يجد تأييداً له في دراسة الإسفنجيات المستحاثة التي يحتوي عليها هذا الصخر. وبالواقع، فإن صخورنا الأكبر عمقاً ليست على أبعد احتمال سوى أوحال زرقاء؛ أي رسوبات بحار ضحلة تجمعت في مقعرات جيولوجية أو في حفر انكباس بعيدة عن مناطق الأعماق السحيقة.

ويظهر **الترسب الكيميائي** على نطاق كبير في البحار الحارة وإلى القرب من الأرصفة المرجانية وذلك عن طريق ترسب كربونات الكلس على شكل وحل ناعم كلسي، وربما حصل ذلك بتأثير متعضيات مجهرية، وذلك فيما يتعلق بمناطق نادرة، بفعل مياه مائجة وضحلة (شواطئ فلوريدا، خليج السويس) على شكل تخثرات صغيرة تدعى بيوضات أو سرئيات. وعلى حافة النطاق البحري أي حيث يمكن إلحاق أقسام من هذا الأخير



شكل ٨٢ ــ بحيرة قره بوغاز الملحة (بحر قزوين).

اصطناعياً بالقارة، حيث تكون مفصولة عن عرض البحر بحواجز ترابية، فإن التبخر بوسعه أن يؤدي إلى ترسُّب أملاح موجودة في مياه البحر وبخاصة كلور الصوديوم (ملّاحات أو سباخ marains salants). ويندر أن تتحقق شرائط كهذه في الطبيعة على نطاق واسع، ومع ذلك فهناك استثناء يتعلق ببحيرة «لاغون» آتشي داريا أو قره بوغاز، إلى الشرق من بحر قزوين (شكل ٨٢)، حيث نجد أن التوضعات النادرة الملاحظة فيها ليست من الملح البحري، بل هي قشرات من الجبس وكبريتات البوتاسيوم على الشواطئ[١]. والتوضعات الملحية الحالية الوحيدة والتي لها بعض الأهمية، هي تلك الأملاح التي تتشكل في المنخفضات المغلقة للمناطق الصحراوية، كما هو الحال في **الشطوط**[*] **Chotts** الجزائرية، حيث استخلصت الأملاح (جبس وكلور الصوديوم) خلال فترات سيلان المياه، من مكامن الترياس المحيطة بها. أما تفسير التراكمات الجسيمة من الصخور البحيرية الملحة (جبس وملح صخري) في الأزمان الجيولوجية فيتطلب إذاً فرضية سنعرضها فيما بعد عند دراستنا لهذه الصخور.

لقد وافقنا في كل ما تقدم على أن طبيعة الرسوبات البحرية كانت منتظمة احتمالياً حسب أعماق توضعاتها وبناء على هذا الواقع، فإنه يُستند بشكل عام على هذا المعيار أثناء استعادة بناء وتصور الجغرافيا القديمة. وبالواقع، فإن الأمور هي حتماً أكثر تعقيداً وإن دراسات ج. ترسييه [٢] لفتت الأنظار إلى واقع كون توزع الرسوبات الحالية، وبالتالي، توزع الرسوبات الجيولوجية، كان يخضع لعدة عوامل أخرى، ففي بحار أندونيسيا والأنتيل، بالواقع، لا تكون الرسوبات الوحلية بالضرورة عميقة، بينما لا تكون التشكيلات الحطامية دائماً شاطئية. وقد أطلعتنا الحملات العلمية المحيطية الحديثة على إمكانية وجود توضعات غليظة بعيدة عن الشواطئ وحتى

(١) **التوضعات البحرية والزمر الجيولوجية** (المجلة الجيولوجية السويسرية، مجلد ٣٢، ص٤٧، ١٩٤٩).

(*) وشط Chotts (اللفظة عربية في افريقيا الشمالية) وتقابل كلمة سبخة في المشرق العربي.

(٢) هذه البحيرة الملحة، في طور تبخر، مفصولة عن البحر بحاجز ولا تتغذّى إلّا من تيار ضعيف يجتاز هذا الحاجز في نقطة، من بحر قزوين إلى البحيرة. فنسبة الملح تزداد فيها إذاً باستمرار. غير أن العلماء حسبوا أنه يلزمها أيضاً، حتى تبلغ مياهها درجة الإشباع التي يبدأ معها الملح بالتوضع، مئتي عام.

في الحفر العميقة، وقد وصلت هذه التوضعات إلى هذه المواقع عن طريق انزلاقات تحتمائية أو بوساطة «تيار العَكَر» وهي مسؤولة عن البنية الغريبة المسماة بِـ «تطبق متدرج الحبيبات» (graded bedding) حيث ينقص غلظ الحبات في السرير النهري اعتباراً من الأسفل حتى الذروة (Migliorini, kuenen).

وإذا كان، إجمالاً، والحالة هذه، اعتبار مخطط هوغ العام مازال قائماً بالتفصيل، فإن النصح باتخاذ الحذر يصبح واجباً ونقول مع جينيو Gignoux أن المعيار الوحيد للحكم على عمق رسوبات ما، هو الوحيش (faune) القاعي (عالم الحيوان)، علماً بأن المتعضيات البيلاجية (البحرية) لا تبالي كثيراً بالعمق. ومن هنا يأتي التصنيف الموجز للرسوبات البحرية إلى رسوبات **حطامية** وتكون على الأغلب ساحلية، **وحيوانية المنشأ** أو مشيَّدة ذات عمق محدَّد دائماً، **وبيلاجية** (ناعمة وغنية بالمتعضيات البيلاجية) ذات أعماق متحولة.

II ـــ تطور الرسوبات

لا تشبه الرسوبات الحالية دوماً الصخور الرسوبية التي تقدمها لنا الزمرة الجيولوجية. فهي لا تصبح مثيلتها إلّا بفضل عدد من التحولات ذات الطابع الكيميائي والديناميكي التي تؤلف التطور الطبيعي لكل صخر رسوبي. ومع هذا فإننا نعلم بوجود صخور احتفظت بصفات النضارة، وعليه فكامبري ضواحي لينينغراد الأفقي هو بحالة غضاريات لدنة، كما أن رمال الثالثي القوقعية في فرنسا تذكّرنا أيضاً برمال شواطئنا الرملية. غير أن هذه ليست إلّا استثناءات، إذ أن الصخور الرسوبية، على الأغلب، لا تبدو أبداً أمام أعيننا كما كانت عليه في مظهرها الأولي الذي فقدته إثر ظاهرات تقادم الهرم والتصلُّد والتصخُّر Diagenèse (انحلال، إعادة تبلور، الإماهة، تأكسد... إلخ) التي بدأت تظهر تباعاً بعد التوضع وإثر ظاهرات الترقق أيضاً التي اعترت النطاقات الملتوية. ولقد رأينا فيما سبق أن بعض فلزات الصخور الرسوبية، هي من منشأ كيميائي ويعود تاريخها إلى البرهة التي تشكل فيها الصخر نفسه (مثلاً:

جبس، كالسيت). وهناك فلزات أخرى يقال لها محلية المنشأ أو مستجدة التشكل (كوارتز، البيت، تورمالين)، تنشأ بعد هذا التشكل للصخر، عن طريق جريان تصخُّري (دياجينيتي) لمياه ممعدنة، وعلى هذا النحو نرى أن المياه الحمضية الحاوية على كبريتات تعتبر حالياً بمثابة مذيبات قوية بإمكانها حلّ، ونقل وإعادة تشكل عناصر السيليكات. وهذا التأثير ينشط طبعاً بعوامل تكتونية.

وبالواقع، فإن رسوبات مائية كالوحل مثلاً، يمكن إعادتها إلى السطح بحركات الأرض، ومنذئذ تبدأ بالتجفف بخسرانها مياه التبلل، ثم تكتسب قساوة. ولكن بإمكانها مع مرور الزمن، أن تخسر مياهها الاتحادية وتخضع إلى اجتفاف déshydratation حقيقي يحوّلها إلى غضار وشيست غضاري، لا يصنعان عجيناً مع الماء. أما فيما يتعلق بظاهرات التصخُّر (التكوّن الصخري) فيمكن أيضاً أن تتدخل بسرعة كبيرة. وذلك في غضون المدة التي تكون فيها الرسوبات مازالت بحالة النشوء في الوسط المائي. وقد أظهرت جميع دراسات البتروغرافيين على الصخور الرسوبية على أن تصلّد الرسوبات (القساوة التي تكتسبها الرسوبات) بإمكانه أن يحصل بسرعة فائقة في قاع الحوض نفسه الذي تشكلت فيه الرسوبات. والمياه البحرية، كالمياه العذبة، بإمكانها حلّ الكلس أو سيليس هياكل الحيوانات، تاركة بذلك فراغات تملأ فيما بعد بمواد فلزية أخرى. غير أن المياه المعدنة بإمكانها أيضاً أن تؤبجن أي تغلّف (تمعدن سطحياً) البقايا العضوية (قواقع مسليسة silicifiées)، دولمتة (Dolomitisées)، أو بيرتة (Pyritisées)، مما يعطي تخثرات متنوعة (عقيدات من صوان، فوسفات الكلس، منغنيز أو كبريت الحديد) ويكون تشكل هذا المركب الأخير مألوفاً، فهو لا يقتصر على التفرد بشكل تخثرات غالباً ما تكون كبيرة الحجم وأبجنة أي تغليف قواقع حيوانية كالأمونيّات (مستحاثات بيريتية)، بل يتعدى هذه الحالات إذ أنه هو الذي يضفي، على عدد من الرسوبات، اللون الأزرق عندما تكون بحالة تجزئة شديدة، مسبباً الإحمرار فيما بعد بسبب تشكل هيدروكسيد الحديد.

ويحصل توضع المادة الفلزية على الأغلب بين العناصر الرضيخة (مفتتة) من

الرسوبات أو العناصر العضوية منها. فيتولد على هذا النحو ملاط كلسي أو سيليسي وأحياناً سيريسيتي فيكتسب الصخر به قساوة كبيرة.

وإذا قصرنا بحثنا على الصخور الحطامية، فإنه من الشائع أن نرى مهيلات أو سافاً من الحصباء أو الرمال أصبحت بسرعة فائقة بريشاً أو بودينغ أو أحجاراً رملية بعد تصلبها بتأثير مياه التسرب الكلسية.

III ـــ بنية ونسيج الصخور الرسوبية

لا تتحمل هذه الدراسة أيّ منهاجية متقدمة بالقدر الذي نظمت فيه دراسة الصخور الاندفاعية.

فمن الناحية الجهرية macroscopique نميِّز صخوراً هشة (رمال) وصخوراً متراصَّة (كلس مرجاني) وكهفية (أحجار الرحى، كارنيولات) ومسامية (أحجار رملية) وفرِطة (حوّار)، ولدنة (غضار) وشيستية (ألواح حجرية) وشبيهة بالسكر (كلس بلّوري، رخام، بلاماء الجص «آنهيدريت»). وأخيراً فإن البنية الرصيصية تتميَّز بوجود بقايا صخرية غليظة يجمعها ملاط ذو طبيعة متنوعة وغالباً ما يكون خشناً، والبنية اللوزية تتميَّز بتجمع عقيدات عينية في داخل التشكيلة (مثلاً: رخام مرقَّط ورخام غيللستر) والبنية المسماة بريش كاذب التي تتميَّز بعناصر من نفس طبيعة العجين، مدوَّرة قليلاً أحياناً، متآكلة ومظهرها بريشي.

ومن ناحية الدراسة المجهرية، بإمكاننا دائماً أن نتفرَّس في صفيحة رقيقة من صخر أجساماً متصوَّرة وملاطاً تكون هذه العناصر غاطسة فيه.

الأجسام المصوَّرة: وتكون من أصل فلزيّ أو عضوي (مستحاثات). فالأولى قد تكون عناصر رضيخة، غليظة تقريباً ومدوَّرة نوعاً ما (حبة مرو من الحث، صفاح الحث الصفّاحية (آركوز)، عناصر اندفاعية في حث ذي المنشأ الناري الرضيخي، ميكا الحث الميكاوية (بساميت) أو عناصر مستجدة التشكل (بلورات صغيرة جداً

من المرو أو الصفاح، معينات من الدولوميا، حبات غلوكوني، بيوض كلسية أو كلوريتية، كريات من الأوبال ... إلخ). ويستفاد من غزارة هذه العناصر أحياناً لتمييز الصخر. فالعناصر العضوية تكون إمّا متعضيات صغيرة جداً من العوالق التي كدَّسها «مطر الموتى» على القاع (غلوبيجرين، كوكوليتات، وذلك بالنسبة للمتعضيات ذوات الهياكل الكلسية، وشعاعيات ومشطورات بين تلك التي لها هياكل سيليسية)، أو كسرات هياكل أو قواقع متعضيات أغلظ من تلك التي أصابها السحق نوعاً ما قبل أن تندمج مع الراسب. ومن بين هذه الأخيرة، ندخل في الحسبان تلك التي تكون على الأغلب كلسية (هياكل منخربات غليظة، هياكل بوليبات، قواقع صفيحيات الغلاصم، معديات الأرجل وعضديات الأرجل، دروع القشريات، هياكل شوكيات الجلد والبرويات الحيوانية، مَشرَات Thalles طحالب كلسية ... إلخ)، وكذلك تلك التي تكون على العكس سيليسية على العموم (هياكل الإسفنجيات)، وأخيراً تلك التي تكون فوسفاتية (كسرات عظام الفقريات). ويستخدم وجود هذه العناصر في تحديد أنواع صخرية مثل (كلس ذي غلوبيجرين، كلس مرجاني كلس ذي أصداف، ذي أنتروك، صخور الإسفنجيات «سبونغوليت» ... إلخ).

ويمكن إتمام دراسة الصخور الحطامية (رمال، لحقيات، أحجار رملية «حث») بفحوص تستند على **قياسات حبيبية (غرانولومترية)**، مما يساعد على تحديد طبيعة حبات المرو من بحرية ونهرية وكثبانية، **وبالبحث عن الفلزات الثقيلة والمقاومة** (تيتان، زركون، روتيل، تورمالين ... إلخ)، مما يطلعنا على المنشأ الجيولوجي والجغرافي للمواد الإنقاضية التركيبية للصخر الذي هو موضوع الدراسة [1].

الملاط: يمكن أن يكون الملاط من طبيعة كلسية، سيليسية، غضارية،

---

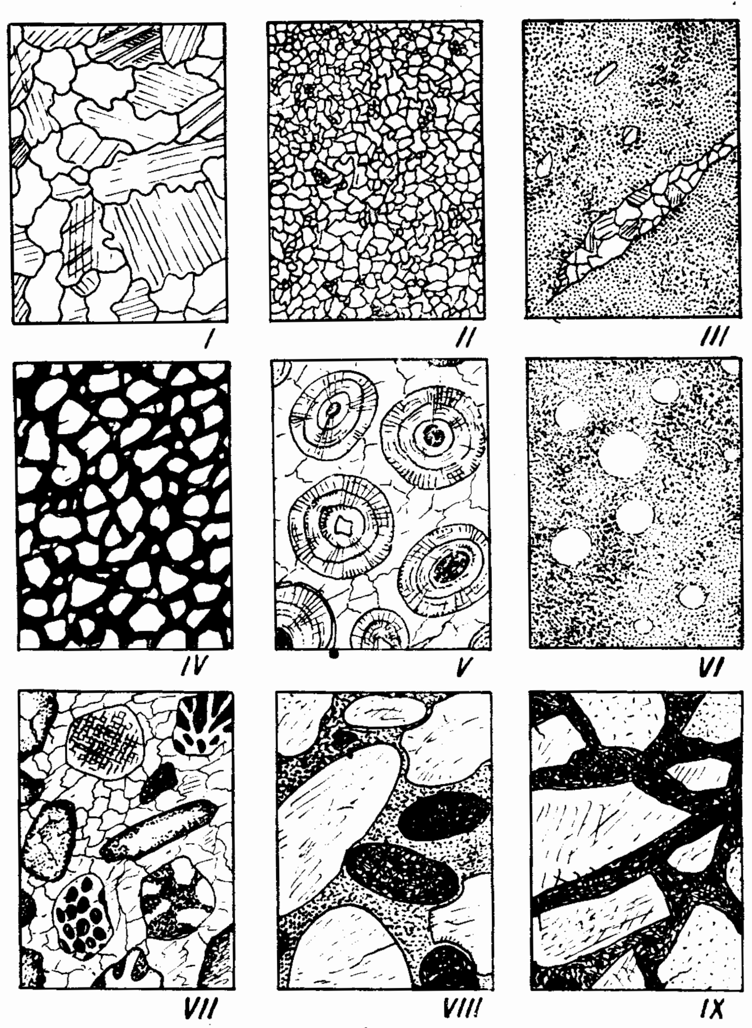
(١) أ. ريفير، **حول غرانولومترية الرسوبات** (مجلة الجمعية الجيولوجية في فرنسا، عدد XIV، ص٤٠٩، ١٩٤٤). وانظر ب. براجنيكوف، **حول أهمية الغرانولومترية للدراسة الكميّة في الفلزات الثقيلة في راسب ما** (المصدر ذاته، ص٣٨١). وتدعى الدراسة الخاصة بالعناصر التي تؤلف مختلف الرسوبات (جيولوجية أو حالية)، وطبيعتها، وغرانولومتريتها، وشروط توضُّعها ... إلخ باسم علم **الترسب**.

فوسفاتية، دولوميتية... إلخ. وعندما يكون كلسياً، وهي الحالة الأكثر شيوعاً، فكربونات الكلس هي الكالسيت، الذي يتمثل بحالات خاصة متنوعة: **حبيبية** عندما يظهر على شكل مساحات بلّورية متشابكة (عندما تكون هذه المناطق غليظة جداً فإنها تفسر جهرياً بالبنية السُكّرانية (شبيهة بالسكر)، **حبابية** عندما يتحدد الملاط تحت المجهر بلون رمادي مؤلف فقط من حبات صغيرة لا تحصى من الكالسيت.

وفي حالة ملاط سيليسي، وهذه حالة نصادفها بخاصة في صخور الحث، فإن الملاط يتألف إما من مرو، أو من كالسيدوان، أو نادراً من الأوبال.

وإذا أخذنا الآن بالحسبان عناصر متصوَّرة وأخذنا معها الملاط، فإنه يصبح بوسعنا على الأغلب بواسطة المجهر، تحديد عدد من نماذج نسيج الصخور الرسوبية (شكل ٨٣). وتعطينا غزارة المرو الرضيخي بشكل حبات صغيرة، مجتمعة مع ملاط سيليسي أو كلسي **النسيج الحثّي gréseuse** أمّا **النسيج البيوضي أو السرئي** فيحدد بغزارة البيوض.

وفي **النسيج البيلاجي**، فإن الصخر يتشكل بجوهره من متعضيات عوالقية «بلانكتونية» مغلّفة بملاط ناعم من الكالسيت الحبابي أو في ملاط كلسي — غضاري. ويشتمل عدد كبير من الصخور الكلسية على نسيج خاص يدعى **النسيج الحصوي graveleuse**، لأن المجهر يظهرها مؤلفة من كميات من بقايا كلسية عضوية المنشأ مدحرجة (هياكل منخربات أو رخويات، صفائح شوكيات الجلد، بيوض... إلخ) تعرض مظهر حصاة ناعمة وغارقة في عجين من الكالسيت الحبيبي. وهناك بعض الصخور الكلسية الخالية من العناصر المصوَّرة فإنها تبدو مؤلفة كلياً من الكالسيت، ويكون النسيج عندئذ، حسب غلظ هذه العناصر، **حبابياً** أو **حبيبياً** أو **سُكّرانياً**. والنسيج هذا هو نسيج معظم أنواع الرخام.



شكل ٨٣ ــ **نسيج الصخور الرسوبية** I، كالسيت سُكَّراني. II، كالسيت حبابي. III، كالسيت حبيبي. IV، نسيج حقّي. V نسيج بيوضي. VI، نسيج بيلاجي. VII، نسيج حَصَبي. VIII، بودينغ. IX، بريش (من I إلى VII، تكبير = ٢٠. VIII و IX، تكبير طبيعي).

IV ــ تصنيف الصخور الرسوبية

سنتبنّى خلال وصفنا للصخور الرسوبية الرئيسة، الترتيب التالي :

I ــ **صخور حطامية** أو رضيخية نشأت نتيجة هدم ميكانيكي للصخور الموجودة من قبل. نميِّز فيها نماذج هشة، (مختلف أنواع الترب، مهيلات، رمال، حصباء) ونماذج متصلِّبة (أحجار رملية «حث»، بودينغ وبريش).

II ــ **صخور سيليسية ــ ألومينية**: متميزة بوجود سيليكات الألومين المائية (غضار، بوكسيت... إلخ).

III ــ **صخور سيليسية**: متميِّزة بنَسبة السيليس العالية فيها. وسنصف منها ما كان من منشأ عضوي (صخور الشعاعيات، أحجار طرابلس، صخور الإسفنجيات) ومن منشأ كيميائي (حجر الصوان).

IV ــ **صخور كربوناتية** أو كلسية (مع أنواعها العديدة).

V ــ **صخور بحيرية** ملحة «لاغونية»، كربوناتية (دولوميات)، كبريتاتية (جبس وبلاماء الجص) أو ملحية (ملح صخري وأملاح البوتاس).

VI ــ **صخور المحروقات**، وتشمل الفحوم الحجرية والبترول.

VII ــ **صخور حديدية** أو فلزات الحديد الرسوبية.

VIII ــ **صخور فوسفاتية**.

٢ ــ وصف الصخور الرسوبية

I ــ صخور حطامية المنشأ

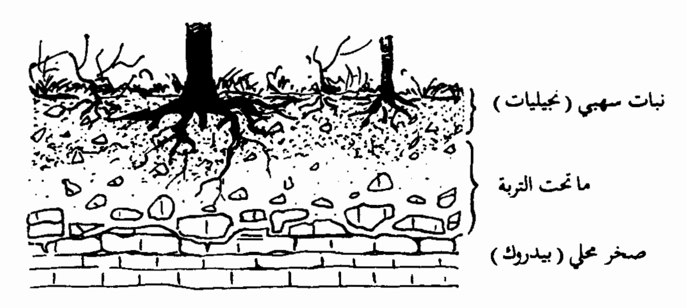
أ ــ الأنماط الهشة

وهي في الغالب تشكيلات حالية أو حديثة (الحقب الرابعي)، أتينا على ذكر أسمائها بمناسبة الدراسة السريعة التي خصصناها لظاهرات الحت.

الترب Les Sols: تطلق هذه الكلمة على القسم الأكثر سطحية، هش على

الأغلب، من القشرة الأرضية؛ أي تلك التي تشمل التربة الزراعية وتنجم عن فساد تحت هوائي للصخور أو للحقيات ما تحت سطح الأرض (شكل ٨٤) .

وكل تربة هي محصلة معقدة لعوامل متنوعة، إذ نتمكن من أن نميز فيها : قسماً فلزياً [1] يكون مسامياً وهشّاً، وقسماً عضوياً أو دُبالاً (أملاح معدنية ذوات حموض عضوية «آحائيات شبيهة بالزلال»، هيدوركربونيات) منوطاً بالغطاء النباتي والذي يجعله خصباً، ومتعضيات حية (وبخاصة راجبيات، فطريات ... إلخ)، وأخيراً الماء والهواء .



شكل ٨٤ ـــ العلاقات العادية بين الترب وما تحت سطح الأرض .

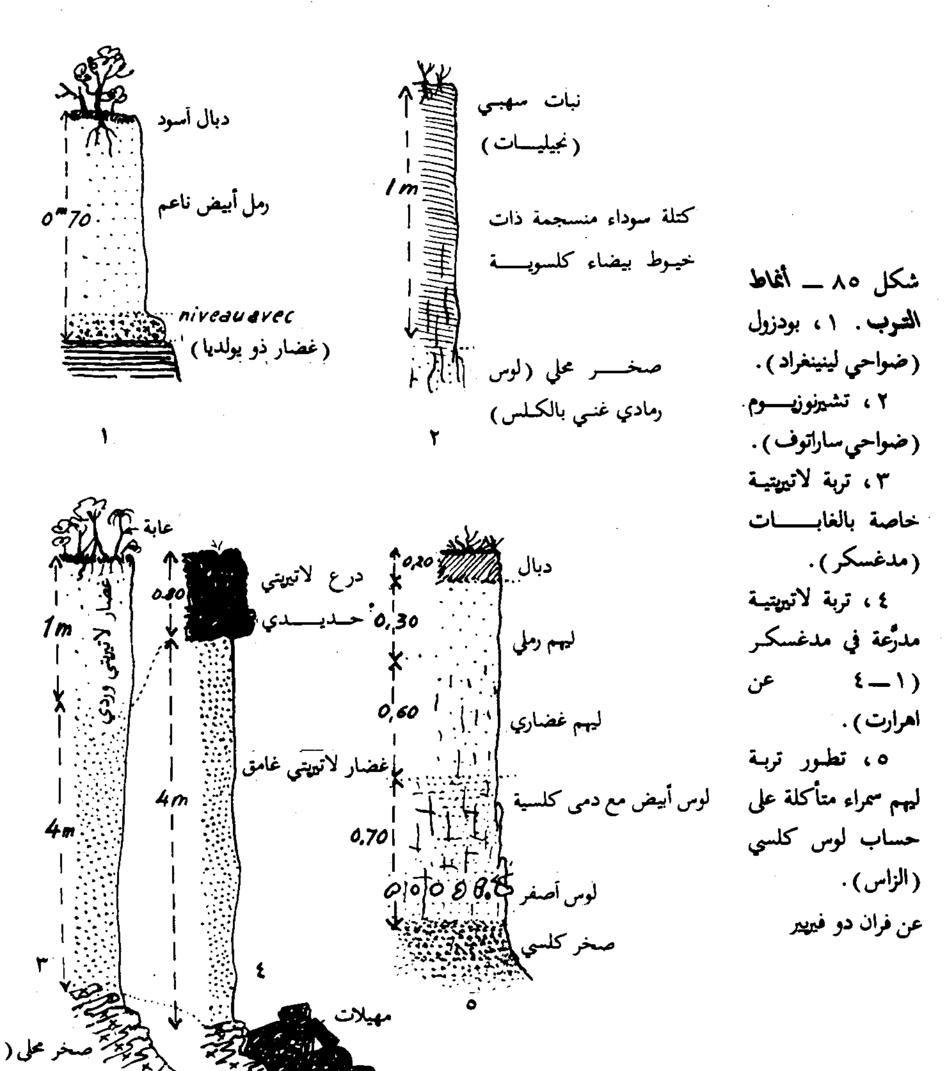
ويكون لتدخُّل المناخ الأهمية الأولى في تشكل الترب وتوزعها، فصخر معيَّن بإمكانه إعطاء ترب مختلفة تحت مناخات مختلفة، كما أن صخوراً متباينة قد تتسبب في إعطاء ترب متماثلة تحت المناخ ذاته .

ومن جهة أخرى، يجب ألّا نعزي دوراً متميزاً للغاية لصخر ما تحت التربة (الصخر الأم أو صخر الأساس) في نشوء الترب، وهكذا، فالتربة القابلة للحراثة، التي تنجم عن فساد الصخور الكلسية القاسية، التي يصعب تفتيتها، والتي تتفاعل

---

(١) أملاح، أكاسيد فلزية، فلزات مختلفة يلحق بها الفساد دائماً بصورة متفاوتة. ولا يبقى سوى الكوارتز بعيداً عن الفساد، فيحدد عندها مسامية التربة، أما الأورتوز فيتحوَّل إلى غضار ويتخلّى عن البوتاس، والبيوتيت يعطي أيضاً، البوتاس وكذلك الغلوكوني، وهو فلز يعطي بالإضافة إلى البوتاس حديداً بشكل ليمونيت «مغرة»، أما البلاجيوكلازات فإنها تجلب الصودا والكلس .

بسهولة بالمياه الحمضية الكربونية، تكون على الأغلب فقيرة بالكلس. وهذا ما يفسر سبب استقرار غابات الكستناء أحياناً، في جبال الألب مثلاً، على صخور كلسية نقية مثل الأورغوني (كريتاسي أدنى). كما أن تدخل الأراضي المنقولة كالمورينات يفسح أيضاً مجالاً في بعض الأحيان إلى إقامة مستعمرات نباتية محبة للسيليس فوق الصخور



شكل ٨٥ ـ أنماط الترب. ١، بودزول (ضواحي لينينغراد). ٢، تشيرنوزيـــوم (ضواحي ساراتوف). ٣، تربة لاتيريتية خاصة بالغابـــات (مدغسكر). ٤، تربة لاتيريتية مدرَّعة في مدغسكر (١ ـ ٤ عن اهرارت). ٥، تطور تربة ليهم سمراء متآكلة على حساب لوس كلسي (الزاس).
عن فران دو فيبير

الكلسية. وإضافة إلى ذلك فإن بعض العناصر الكيميائية في التربة لا تمت بأي صلة للصخر الأم. وهكذا نرى أن نسبة آزوت تربة لا يتعلق إلّا بمؤثرات كيميائية حيوية جرثومية.

ونضيف أخيراً أن أجساماً غروانية (معقدات نسميها امتزازيات) تتدخل في الترب لتحدد فيها الحالة الفيزيائية (تفاوت ميوعتها مثلاً) وكمثبتة للإيونات المفيدة من الناحية الزراعية.

وتصنيف الترب كما اقترحه المختصون (إذ أنه يوجد علم للترب هو البيدولوجيا) يمكن أن يؤسَّس إما على المناخ[1] الذي ينظم فيها اللون العام (علماء الترب الروس)، أو على البنية (ترب رملية، ليمونية، غضارية... إلخ) والتركيب المينيرالوجي (حسب علماء الترب الأمريكيين).

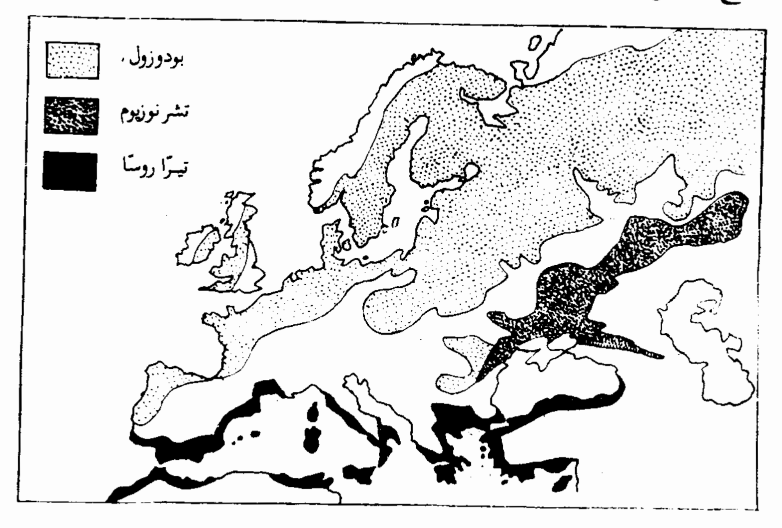
وسنميِّز الأنماط الكبيرة التالية: «**البودزول**» (شكل ٨٥) أو الترب الغابية الفرِطة ولها قوام الرماد، وهي الأكثر شيوعاً في أوروبا المعتدلة (خريطة شكل ٨٦)، «**التشيرنوزيوم**» في الروسيا الجنوبية، وهي تربة سوداء تفرش السهوب وغنية جداً بالدبال وسماكتها كبيرة، «**الترب الكستناوية**»، غنية بالقلويات، للمناخات القارية، وأخيراً «**الترب اللاتيريتية**» و «**التيرّاروسّا**» أي **التربة الحمراء** ذات اللون الأحمر، وهي أفقر الترب بالدبال وتميِّز مناطق البحر المتوسط[2].

---

(١) ومنها جاء اسم «**الترب النطاقية**» الذي أطلق على الترب التي تنتشر حسب نطاقات مناخية. وهذه النطاقية في الترب تكون بالفعل مضطربة في الأقطار التي تتدخل فيها تبدلات كبيرة في الارتفاع وحيث تتشكل **ترب حتّية وترب لحقية (ترب لا نطاقية)**.

(٢) ج. بلاش. **الترب النباتية. محاولة عرض جغرافي** (مجلة الجغرافيا الألبية، XXIX، ص١٥٤ — ٢٢٢، ١٩٤١). ج. فرانك دو فيربر، **الجيولوجيا والبيدولوجيا: مساهمة في دراسة التشكلات الرباعية في سهل الألزاس**. ستراسبورغ، ١٩٣٧. ولنضف إلى ذلك أننا نصادف في المناطق القطبية والجبال المرتفعة، حيث تكون الحرارة الوسطى على قدر من الانخفاض تجعل التربة متجمدة على عمق ما، نصادف أنماط ترب فريدة جداً: مثل الترب المحززة، ترب على شكل تيجان، ولا سيما الترب العديدة الأضلاع، وقد عثر على هذه الترب مؤخراً في بعض مناطق جبال الألب الفرنسية. م. جينيو. **مثال طيب عن «تربة متعددة الأضلاع» في جبال الألب الفرنسية** (دراسات المخبر الجيولوجي: غرينوبل، مجلد XX، ١٩٣٧، ص١٦٥).

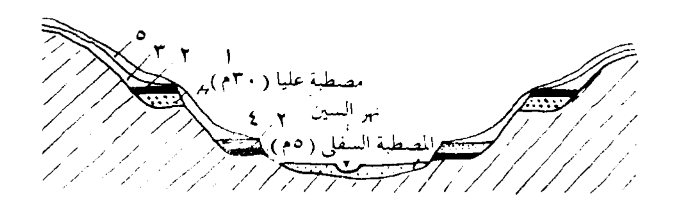
المهيلات : يقصد بهذا اللفظ تراكمات من جلاميد زاويّة شائعة في الجبل حيث تنجم عن عمل مشترك للتجمد الذي يؤدي إلى تشظّي الصخور والثقالة، التي تهوي الانقاض منها نحو الوادي (شكل ٦٣، II). ويحصل تفتت الصخور في البلاد الحارة، كما مرَّ معنا، تحت تأثير تبدلات الحرارة. وتتجمَّع جميع هذه البقايا في أسفل الممرّات لتعطي مخاريط المهيلات وهي أشكال ذات انحدار شديد للغاية وتحاط قاعدتها بالجلاميد الضخمة. فالمياه تسيل فيها بسهولة (ينابيع المهيلات)، وعندما تكون كلسية فإنه يصبح بإمكانها أن تلاحم (تُسَمنتْ) عناصر هذه المهيلات لتعطي بريش المهيلات أو بريش المنحدرات حيث يكون التطبق فيه عندئذ موازياً لسطح الأرض.



شكل ٨٦ ــ خارطة توزع الترب الرئيسة في أوروبا
(عن غلنكا، آغافونون... إلخ)

المورينات : وهي نتاج التراكم الجليدي وهي تشكيلات هشّة وعديمة التجانس للغاية. فنجد انقاضاً من كل القياسات، تكون ضخمة أحياناً (جلاميد نقلتها الجليديات أو التائهة، حصى محززة، حصباء... إلخ) (شكل ٧١) تظهر فيها المورينات مدموجة في مادة رابطة ذات طبيعة غضارية أو غضارية ــ رملية. وتكون

المورينات دائماً حاملة للماء تقريباً ويكون ثباتها نسبياً جداً، وبخاصة عندما تقبع على منحدر، وهي حالة شائعة في المناطق الألبية التي كانت مغمورة في الرابعي أو الرباعي بأنهار واسعة من جليد[1].



شكل ٨٧ — **توزع اللوس على مصاطب نهر السين.** ١، لحقيات جمودية (الحقبة الأولى). ٢، لحقيات بين زحفين جموديين (شيللي) ٣، لوس قديم. ٤، لحقيات جمودية (الحقبة الثانية = موسيتري). ٥، لوس حديث. ٦، لحقيات حديثة.

اللحقيات السيلية: إن اللحقيات الَتي تحملها السيول في برهة الفيضانات تأخذ بالتجمع نحو السافلة معطية **مخاريط انصباب سيلية** (شكل ٦٦)، وهي تشكيلات تتميَّز عن مخاريط المهيلات بمظهرها المفلطح، والتطبق المتصالب للمواد ووجود جلاميد ضخمة في الأقسام العليا من رأس المخروط. وتكون هذه اللحقيات تقريباً حاملة للماء دائماً والماء يسيل فيها في أذرع قديمة سيلية مردومة.

اللحقيات النهرية: إن المواد الانقاضية التي تجلبها المهيلات والسيول إلى الأودية تتلقَّفها الأنهار الأكثر أهمية، فتتحول تدريجياً بالبري والبلى الذي يحصل أثناء النقل إلى لحقيات نهرية (شكل ٦٦). وتكون هذه الأخيرة مؤلفة من حصباء بيضوية، وحصيات، ورمال وأخيراً من وحول، جيدة التطبق دائماً. وتنقل الأوحال والرمال الناعمة على شكل عكر بينما تتدحرج الحصباء على القاع أثناء الفيضانات.

لقد رأينا أن مجموعة هذه المواد تؤلف الصبيب الصلب لمجرى مائي، وهو مميَّز ويلعب دوراً كبيراً في المشاريع والأشغال الكهرمائية لتقدير مدة ملء حوض تخزيني.

---

(١) وهكذا، فإن جليدية الرابعي للرون Rhône، التي وصلت إلى ليون كان طولها يزيد عن ٤٦٠ كم. وحالياً فإن أكبر جمودية في أوروبا وهي جمودية آليتسش Aletsch في جبال الألب السويسرية لا يزيد طولها عن ٢٤ كم.

وتتوضّع جميع هذه اللحقيات على شكل طبقات منتظمة خلال الفواصل الزمنية بين الفيضانات، تارة على السرير الأصغر (سرير النهر الاعتيادي) وطوراً على السرير الأكبر (السرير الذي تحتله الفيضانات) حيث تنفرش على العموم الجزيئات الناعمة (**غرين الطفحان**). وتنمو في الأعماق أغشية حاملة، للماء على المستويات الكتيمة.

وتصبح المواد التي تنقلها الأنهار دقيقة أكثر فأكثر بقدر ما تقترب من البحر، مما يؤدي إلى سطم عدد كبير من المصبات الخليجية للأنهار **بالوحول**. وقد رأينا من ناحية ثانية أن جميع التشكيلات التي أتينا على ذكرها مهيلات، حصباء، رمال ووحل، يمكن أن تنشأ بتأثير الحت البحري.

ونضيف إلى ذلك أن من السهل التعرف على الرمال النهرية ورمال البلاجات الطرية من الشكل الزاوي لحباتها التي تكون رؤوسها مثلمة ولمّاعة المظهر، وتجعلها جميع هذه الصفات كما سنرى متنافرة مع رمال الكثبان.

ونجد بعض اللحقيات القديمة الحاوية على حصى سيليسية وحصباء كلسية، وتكون هذه الأخيرة مختلطة على الأغلب بالحصى السيليسية وتبدو عندها مغطاة بحفر كؤيسية الشكل صغيرة (حصباء انطباعية). وتعزى هذه الظاهرة إلى واقع تنشيط انحلال الكلس بضغط التماس وبوجود مياه شعرية. وإن أمثال هذه الحصباء الانطباعية نجدها ثانية في صخور مثل الرصيصات العائدة لمولاس الميوسيني لكل من الدوفينية والسافوا، وهي لحقيات قديمة لدلتات بحرية (شكل ٩٠، II).

ويحدث أحياناً أن تتلاشى الحصى الكلسية التابعة للّحقيات برمتها بتأثير المياه التسربية الشديدة الحموضية وهذه هي بخاصة حالة **اللحقيات المفتقِرة** التي تعود للبليوسين المحيط بالألب والذي لا نجد فيه سوى حصباء من الكوارتزيت.

اللحقيات الريحية: هذه اللحقيات هي **رمال الكثبان**، التي تصبح، بفعل اضطراب حباتها بلا هوادة واحتكاك بعضها على بعض، مدورة بانتظام وغير مصقولة (مما يميزها عن الرمال النهرية). ولنلاحظ أن تطبق رمال الكثبان يكون دائماً متصالباً. (شكل ٧٦، IV). ونذكر من بين التشكيلات الهشّة القديمة والتي تنجم عن عمل

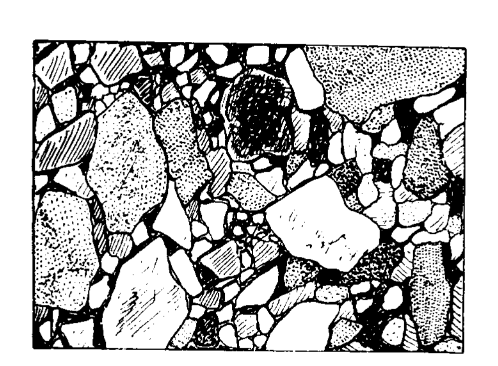
الـريح ، **اللـوس (Le Loess)** ، وهـو عبـارة عن تربـة صفـراء بحالـة غبـــار دقيـــق كلسي ـــ غضاري منتشر بكثرة في الصين وأوروبا الوسطى ، حيث نشأ خلال الدور السهبي العائد للرابعي .

نجد فيه فلزات رضيخية زاويّـة : مرو ، صفاح ، زركون ، روتيل ، ومركّـزات من الكلس تدعى **دمى** (شكل ٩٠ ، III) . ويقسرنا وجود الغضار وبعض القواقع البرية السريعة العطب (**هيلكس** ، **بوبا** ، **سوكسينا**) للإقرار بتدخل المياه في تشكل اللوس بالإضافة إلى تدخل الريح . ويدعى القسم الأعلى من اللوس منزوع الكلس في الحوض الباريسي ، **ايرجيرون** (وهذا ما يسمونه في مواضع أخرى **الليهم Lehm**) . وهي تشكيلة يمكن استعمالها كتربة للقرميد . ويغطي اللوس في وادي الرون المصاطب القديمة .

ب ـــ أنماط متماسكة

وهي الصخور الرصيصية (بريش ، بودينغ) والأحجار الرملية « الحثية » أي صخور تمكـنّـا بسهولة فائقة من تصـوّر نشأتها نتيجة تصلب انهيارات ، وحصى ورمال بلاجاتنا عند أقدام الجروف .

فهي إذاً صخور غير متجانسة ذات بنية غليظة تقريباً وتحتوي على عناصر من صخور أو فلـزات ذات مقاييس متنوعة ، يجمعها ملاط كلسي أو سيليسي ، غير أنه يبقى بصورة عامة حـثّـياً .



شكـل ٨٨ ـــ مثـال على بريش متعـــدد المنشأ **Polygénique** . بريش جوراسي من حصن التلغـــراف (جبال الألب الفرنسية) .

البريشات :

وتتألف من عناصر غليظة زاويّـة من صخور غارقة في ملاط رملي أو كلسي . فلم يحصل هنا إذاً نقل بالمياه ،

ويجب الإقرار بأن البريشات لها منشأ موضعي وتمثل منتجات انهيارات جرفية أو تهدم كتلة من الصخور (مثلاً: بريش التلغراف الجوراسي في الألب الفرنسي) (شكل ٨٨). ويمكن حصول هذه الظاهرة في الأرض (مثلاً: مهيلات مسمنتة)، أو على حافة البحر (بريشات ذات ملاط رملي ومستحاثات بحرية). وأخيراً فإن بعض البريشات ذوات الملاط الكلسي والطبيعة البلاجية، تجعلنا نفكر أنه أمكن تشكلها على حساب جعدات تحت بحرية أو حبال جبلية «cordillères» بحالة نهوض. تلك هي بخاصة، حالة بريشات الكريتاسي الأعلى للبيرينيه والألب



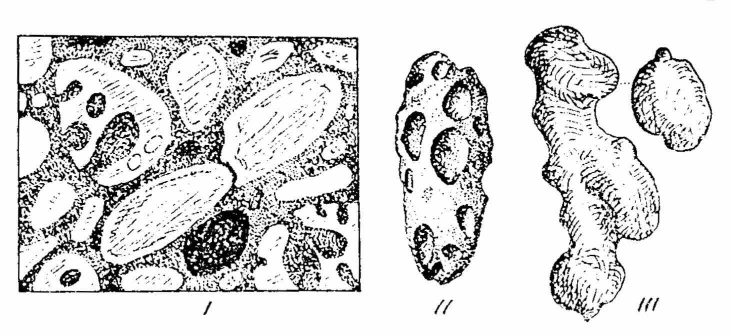
شكل ٨٩ ـ **مثال على بريش أحادي المنشأ**. بريش ترياسي في داخل الألب (صخر كلس رمادي).

وبريشات الجوراسي لنطاقات الألب الداخلية. وبريشات كهذه لا تدل إذاً دائماً ولا تعطي يقيناً على حدوث طفو، إذ أنه أمكن تشكلها تحت الماء في زمرة الصخور الألبية البريانسونية فإن إثبات الطفو لا يمكن تقديمه إلا بوجود طلاءات قارية، كالتشكيلات المتبقية الحديدية (**سيديروليتيك**). وتكون عناصر بعض البريشات البحرية من نفس طبيعة الملاط وتتطلب إذاً زحزحة التوضع نفسه على القاع البحري من قبل التيارات. وهذا هو وضع البريشات الزائفة العائدة للتوتوني تحت الألبي. وهناك بريشات مشابهة نشأت خلال الفصل البحيري العذب الذي ختم الجوراسي في جبال الجورا الجنوبية (بريشات ذات حصى عديدة الألوان تعود لعصر البوربيكي)، نتيجة ظاهرات طفو دورية أتبعت بجفاف التوضع وتصدّعه. وأخيراً فإن بريشات **أخرى وحيدة المنشأ** ذات ملاط من السيليس أو الكالسيت (صوان بريشي، بريشات **الترياسي داخل الألب**) حاصلة على الأغلب من ظاهرات التشظيات التصخرية الناجمة

عن دعوة السيليس أو الكلس المتواصلة إلى الشقوق الموجودة مسبقاً في بعض الصخور (شكل ٨٩). ونضيف إلى أن بعض البريشات أو الصخور الرصيصية متعددة المنشأ (بسبب كونها مؤلفة من صخور متنوعة)، الحاوية على حصى محززة، تعتبر بمثابة مورينات قديمة (مثلاً: صخر دويكا الرصيصي العائد للكربوني في افريقيا الجنوبية أو **التيلليت Tillite**).

صخور البودينغ Poudingues: هي صخور مؤلفة من حصى غليظة مدورة يجمع بينها ملاط. لقد حصل هنا نقل بالمياه أو على الأقل سحق للعناصر، التي كانت زاوية الأطراف من قبل، بالأمواج.

نضرب مثلاً على تلك البودينغات، البودينغ ذات المسحة الأرجوانية، المؤلفة من حصباء وعجين من الكوارتزيت، العائدة إلى قاعدة الكامبري في مقاطعتي النورماندي والبريتاني، والبودينغ ذات الحصى من المرو العائد للفحمي في داخل الألب. أما في حوض باريس فان بودينغ نيمور Nemours ويعود للسبارناسي لا يحتوي إلّا على حصى من الصوان الناتج عن الحوار. وتكون صخور بودينغ الحقب الثالثي في داخل الألب (بودينغ مولاس الدوفينيه والسافوا، **ناجلفوه** في الألب السويسرية) (شكل ٩٠)،

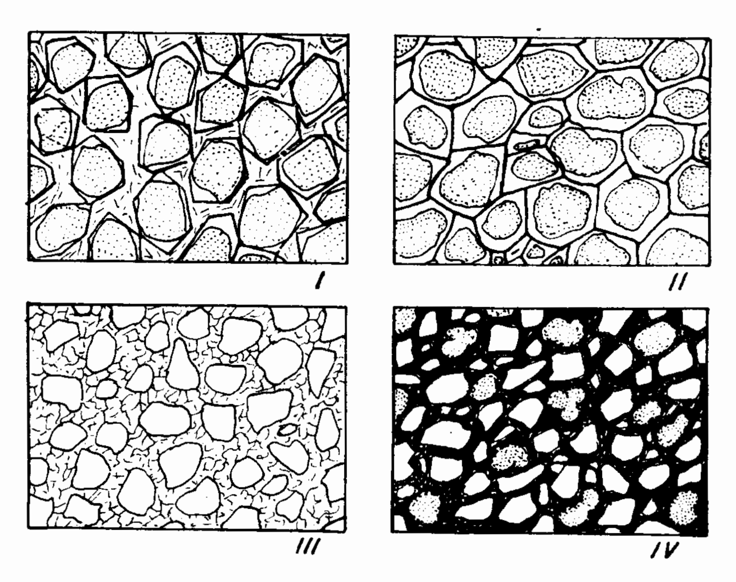


شكل ٩٠ — **نماذج من البودينغ**. I، بودينغ مولاس ما تحت الألب مع حصباء مدموغة ومثقوبة من قبل قاضمات الصخر، وحصباء من صخور شعاعيات داخل الألب (بالأسود). II، حصاة مدموغة منعزلة (مولاس محيط بالألب). III، «دمى» اللوس.

منتشرة بكثرة ويمكن اعتبارها بمثابة الدلتات التي كانت تشكلها السيول الألبية عند وصولها إلى جسر المولاس. ويعثر فيه بالواقع بشكل حصى، على عيّنات من جميع

الصخور الألبية وحتى داخل الألبية (فاريوليت، صخور الشعاعيات «راديولاريت»)، حيث نجد عدداً كبيراً من الحصى الكلسية مدموغاً أو مثقوباً من قبل الرخويات من قاضمات الصخر.

وعندما تكون لعناصر البودينغ مقاييس الحصيات، فإن الصخر يدعى ميكروبودينغ. إن «الفروكانو» في الألب العائد للبرمي هو ميكروبودينغ ذو حبات سيليسية متعددة الألوان، والحبات الحمراء فيه هي السائدة. ولنذكر أيضاً ميكروبودينغ النموليتي تحت الألبي الذي يحتوي على شظايا من صخور إندفاعية. إن وجود بودينغ في زمرة جيولوجية لهو دليل على الاقتراب من شاطئ وعلى العموم من طغيان بحري.



شكل ٩١ ــ أنماط الأحجار الرملية. I، حجر رملي مبلور للترياسي الفوجي: كل حبة من السيليس كانت بمثابة قطب جذب للسيليس وأعطت بلّورة صغيرة، وتتجابه البلورات بزواياها ونشأت بينها شذرات من حديد أوليجيست. II، كوارتزيت، توضّع السيليس ملأ جميع الفجوات الموجودة بين حبات المرو. III، حجر رملي ذو ملاط كلسي من جوراسي شمال فرنسا، حبات المرو ملتحمة مع بعضها بكالسيت حبيبي. IV، حجر رملي غلوكوني (حبات غلوكونية باللون الرمادي) مع ملاط كلسي ــ فوسفاتي وحديدي (البيان تحت الألب).

الأحجار الرملية «الحث»: هي صخور تقابل رمالاً قديمة (سواء كانت الرمال

من منشأ بحري، ريحي أو نهري) متصلبة. ويقوم تصنيف أنواع الأحجار الرملية على طبيعة العنصر المصاحب للمرو الرضيخي وعلى طبيعة الملاط (شكل ٩١).

ونذكر، من بين الأحجار الرملية المؤلفة من حبات المرو فحسب والتي يلاحم فيما بينها ملاط من السيليس، **الأحجار الرملية الكوارتزيتية** التي تغذّت فيها حبات المرو بالسيليس، ولكن بكميات غير كافية لنحصل على صخر متراص. ويمكن أن تكون الفواصل بين البلورات الصغيرة فارغة (مثلاً: رمل مبلور للترياس الفوجي. شكل ٩١، I) أو مملوءة بملاط كوارتزيتي أو فيلليتي، (مثلاً: حجر رمل الآردين الكامبري، حجر رمل الفوج، حجر رمل فونتينيبلو). ونضيف إلى أن حجر رمل الفوج مدين بلونه الجميل الوردي لوجود شذرات دقيقة من الأوليجيست تشكلت بالوقت نفسه الذي تشكلت فيه الحبات المبلورة، وأن شكل حبات المرو المدورة فيه يوحي بأنها خضعت للبري من قبل الريح (فرضية تجد تأييداً لها بالتطبق المتصالب الشائع لهذه التشكيلة).

عندما لا يترك المرو الذي يغذّي الحبات أيّة فواصل للملاط، فإن الحجر الرملي يصبح عبارة عن **كوارتزيت**. (شكل ٩١، II). وهو صخر تضفي عليه هذه البنية صلابة كبيرة للغاية. وتتشكل أحجار رمل الحقب الأول تقريباً دائماً من الكوارتزيت (مثلاً: غانيستر الكربوني الانكليزي، كوارتزيت الترياس الألبي الأبيض أو المائل للخضرة، بعض أقسام أحجار رمل الاوليغوسين في فونتينيبلو). وتكون أحجار رمل فونتينيبلو هذه، مثلها مثل معظم التشكيلات الحطامية الكوارتزية للثالثي الباريسي، متسيلسة (مشحونة بالسيليس) بصورة شديدة التفاوت؛ فبعض الأقسام مفرط التسيْلس إلى كوارتزيت حقيقي، بينما غيرها ليس سوى أحجار رملية كوارتزيتية أو رمال[1]. ويقوم سيلان المياه السطحي، بتعريته قاعدة طبقات الأحجار الرملية القاسية والمتطبقة بين الرمال، هو الذي يحدد التوزعات العشوائية للجلاميد المميزة تماماً لغابة فونتينيبلو الشهيرة. وعندما تكون نسبة السيليس عالية في هذه الأحجار الرملية،

(١) إننا نعلم أنهم يطلقون على رمال الثالثي هذه لفظة «**فالين**» **Faluns** عندما تكون قوقعية.

مثلها مثل كوارتزيت جبال الألب، فإنه يمكن استعمالها كمنتوجات نارية (تتحمل الحرارة العالية) وفي صناعة التعدين الكهربائية (صناعة الحديد ــ السيليسي).

وهناك أنواع الأحجار الرملية السيليسية التي نصادف فيها عناصر بركانية وتدعى **أحجار رملية نارية رضيخية grès pyroclastiques** (**غرواك** المؤلفين الألمان). هذه هي حالة غرواك ديفوني الفوج وبخاصة التشكيلات الحطامية، التي تختم دورة الإيوسين في الألب والمعبَّر عنها حسب المناطق تحت اسم حجر تافيانّاز الرملي (في الألب السويسرية والسافوا)، حجر شامبسور الرملي (دوفينه)، حجر آنّو الرملي (جبال الألب الجنوبية)[1].

وكثيراً ما تمت مقارنة هذه التشكيلات الأخيرة **بالطف Tuf** أو **بالسينيريت**(*) **cinérite**، وهما نتاج مقذوفات بركانية: **لوبيات Lapilli** أو **رماد**، متطبقة بفعل المياه[2] ونشير بالنهاية إلى أن الرمال الحديثة في اللاند Landes (حوض الاكيتين «فرنسا»)، بإمكانها التماسك موضعياً بتسربات حديدية سطحية، معطية صفوفاً من أحجار رملية حديدية تدعى **آليوس alios**.

وهناك عدة أنواع من الأحجار الرملية يقوم تمايزها على وجود فلزات مختلفة عن المرو. وهكذا فإن ظهور شذرات الميكا وتراجع المرو يساعد على تعريف **البسامّيت psammites**، وهي صخور قابلة للانفصام وشائعة في تشكيلات الحقب الأول (بسامّيت كوندروز، ديفوني، بسامّيت العصرين الكربوني والبرمي) والترياس. أما صخور **الأركوز arkoses** فهي أحجار رملية صفّاحية، ذوات ملاط سيريسيتي غالباً، تشيدَّت مباشرة على حساب الجبال الغرانيتية، في طريق التفكّك، التي تدل على الجوار وهناك أركوز شهير هو أركوز هايب Haybès، وهو ديفوني.

---

(١) هذا هو «الماكسينيو macciguo» بتعبير الجيولوجيين الايطاليين، أو الحجر الرملي المنقّط أو الملطّخ بسبب اللطخ السود الناجمة عن تفسخ العناصر البركانية.

(٢) أدّت نعومة حبات الرمال، إلى الاحتفاظ بالمستحاثات الأكثر حساسية ودقة (نباتات، حشرات)، على وجه رائع (كما في موندور).

(*) وهناك مثال جيد عن هذا التطبيق في الحي الجنوبي من مدينة القنيطرة بالجولان (المترجم).

ونصادف أحجاراً رملية غلوكونية، وتكون غالباً فوسفاتية (شكل ٩١، IV) في الكريتاسي الأوسط للألب والحوض الباريسي: ويقوم فوسفات الكلس بأبْجنة المستحاثات العديدة فيها؛ أي تغلّفها أو يتفرد على شاكلة عقيدات غليظة (**كوكينات coquins** الآرغون والآردين) تتراوح فيها نسبة P^2O^5 من ١٦ إلى ١٨٪.

وتوجد أحجار رملية دولومية الملاط تقريباً (بعض أقسام أحجار الفوج الرملية) أو يكون ملاطها مؤلفاً من أوبال، لوحده أو بالاشتراك مع الكالسيدوان (**طفّو Tuffeaux** وهو نوع صخر كلسي ــ حواري، مع ميكا وحبات مرو، يعود لإيوسين شمال فرنسا).

وأخيراً فإن صخور **المولاس**، هي صخور كثيرة الشيوع في الميوسين، هي أحجار رملية ذات ملاط كلسي تجتمع فيها بقايا عضوية كربوناتية (قواقع رخويات، برويات حيوانية، انتروك ... إلخ) وحبات من الغلوكوني وشذرات من الميكا مع حبات من المرو. وقد أدّت غزارة المواد الكلسية مع تلاشي المرو الرضيخي بكليته تقريباً إلى تسمية بعض أنواع من الميوسين **مولاس كلسي** (أو كلسي حتّي) وأن الحجر المشهور (حجر الجنوب) ذا الاستعمال السائد في البناء، هو صخر من هذا النمط. ويعرض ستامبي Stampien حوض باريس، إلى جانب أحجاره الرملية السيليسية النموذجية، أحجاراً رملية ذات ملاط كلسي وهي مولاس حقيقية. وكذلك فإن بعض طبقات الجوراسي تحتوي على أحجار رملية ملاطها كلسي (شكل ٩١، III).

وعندما تصبح عناصر حجر رملي ما ناعمة للغاية، فإن الصخر يسمى **بيليت Pélites**. وهذه الصخور، ذات المظهر الغضاري المتصلب، مؤلفة من غبار المرو الحطامي بالإضافة إلى بعض فلزات ورقية البنية وأوكسيد الحديد؛ هي أوحال ناعمة قارية متصلبة، متأتيّة على الأغلب من غسل صخور طف بركانية معاصرة (tufs). ونجد البيليت في برمو ــ ترياس افريقيا الشمالية وبرمي قبة بارّو Barrot (محافظة الألب ــ البحرية).

II ــ صخور سيليسية ــ ألومينية

ندرس تحت هذا العنوان أنواعاً مختلفة من الصخور الحطامية التي تتأتّى سيليكات الألومين فيها من تهديم الصخور القديمة. فبعضها ينجم عن عملية الترسُّب الطبيعية (بحري، بحيري عذب أو ملح) وهذه هي الغضاريات بالمعنى الصحيح. ويظهر غيرها على شكل محاصيل متبقية ومعقدة نوعاً ما، من منشأ قاري، تكون غنية عادة بالحديد (غضار التأكلس، لاتريت وبوكسيت ... إلخ).

أ ــ الغضاريات بالمعنى الصحيح

هي صخور ذوات حبات ناعمة ومكسر كامد، قاسية عندما تكون جافة، غير أنها تصبح لدنة بتأثير الرطوبة. فهي تنتج عن وحول قديمة غضارية مع كلس أو بدونه. وتتجاوز نسبة المواد الغضارية فيها دائماً ٥٠٪. وعندما تكون هذه النسبة معادلة تقريباً لنسبة كربونات الكالسيوم، فالصخر يصبح إسمه **مارناً marne** (انظر ص ٢٨٧)[1]. وتؤلف هذه الصخور تقريباً ٤٠٪ من القشرة الأرضية و٨٠٪ من الصخور الرسوبية حسب تقديرات كلارك.

وتظهر دراسة هذه الصخور صعوبات كبيرة بسبب التفتت المتناهي الذي تبدو عليه عناصرها والتي، لهذا الواقع، ليست مؤهلة للتحاليل الكيميائية والمينيرالوجية إلّا قليلاً. ولهذا يصبح من الضروري، لتحديد هذه الصخور، أن نلجأ إلى طرائق خاصة مثل التحليل بالأشعة السينية rayon X والتحليل الحراري التفاضلي[2].

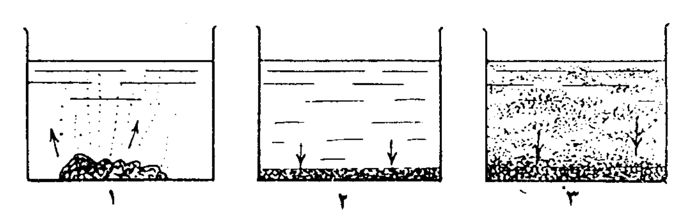
تعقد تركيب الغضاريات: إذا وضعنا غضاراً في مياه جهاز مبلور cristallisoir

---

(١) نمر عن طريق المارن من الغضار إلى الكلس الغضاري أو الوحلي من منشأ حطامي والذي تزيد فيه نسبة كربونات الكلس عن ٥٠٪.

(٢) ج. ميللو **الروابط بين تركيب الصخور الرسوبية الغضارية ومنشؤها** (أطروحة علوم، نانسي ١٩٥٠) ب. أوبان منطق الصخور الغضارية (مجلة الجمعية الجيولوجية في فرنسا XII، ص٩٧ ــ ١٢٢، ١٩٤٢).

(إناء التبلور) نراه ينتفخ وينتشر (لدونة)، بينما تنطلق منه عدة فقاعات هوائية (مسامية) (شكل ٩٢).



شكل ٩٢ ــ **تعقد تركيب الغضاريات**. ١، الغضار الموضوع في الماء يتفكك مع انطلاق فقاعات هوائية دقيقة. ٢، الجزيئات الناعمة الحطامية (بخاصة المرو) تتوضع، والغضار يبقى بشكل معلقات (سائل لبني) (opalescent). ٣، نديفات من الغضار مائلة للبياض تحصل مع المياه الحاوية على شوائب (أملاح) ويظهر في السائل ثم لا يلبث أن يتوضع تدريجياً في قاع الإناء.

فإذا فحصنا الخليط، نرى أن الغضار لا يلبث أن ينفصل إلى قسمين: قسم يبقى عالقاً في الماء ويبدو على شكل عكر خفيف، والآخر الذي يسقط إلى قاع الإناء بشكل راسب ناعم مؤلف من فلزات حطامية دقيقة للغاية (مرو، فلزات تيتانية).

وتتألف الأقسام التي بقيت عالقة في الماء بشكل رئيسي من مواد غضارية مع قليل من السيليس المميّه أو تكون مجزّأة بنعومة كبيرة مع أملاح حديد، كلس ومغنيزيا. ويكون تعلّق الغضاريات هذا تاماً بقدر ما تكون المياه نقية وتصبح المياه بهذا القدر نفسه من الصفاء. وفي الحالة المعاكسة (وجود أملاح كلسية على الأخص)، فإن العكر يزداد وتنشأ نُديْفات تميل للبياض ويتجمّع تدريجياً على قاع الإناء[1]. فنقول أن الغضار **يتندّف**. وهذا بالواقع يعود إلى أن الغضاريات العالقة توجد على شكل **نثرات غروية micelle**، وهي أنواع لتجمعات منعزلة من الجزيئات المشحونة بكهرباء من نفس الإشارة، والتي تعجز عن التكتل مع بعضها إلّا عندما تتعدل بالإيونات أو الشوارد ions المشحونة بكهرباء من إشارات معاكسة للأملاح المنحلة بالماء.

---

(١) تساعد المياه الباردة على تعليق الغضار. ففي المناطق القطبية أيضاً، حيث تنقص غزارة المياه العذبة ملوحة البحر، فإن الغضار يبقى عالقاً لزمن طويل، مما يساعد المتعضيات السيليسية التي تستخدمه لإشادة هياكلها. فيمكن القول إنها شرائط معاكسة تماماً لتلك التي تنظم تنمية المتعضيّات الكلسية.

أما النثرات التي كانت تشكل ما نسميه **تربة sol** (أو محلول زائف) فتتجمع بشكل **هلام** يرسب على القاع[1]. ومن المقبول حالياً أن النثرات تمـرّ بشكل متواصل إلى جزيئات فلزية مائية بلورية مجزأة بنعومة مفرطة (فيلليت). وبنتيجة التنـدّف يعاد تشكل الغضار إذاً على قاع الوعاء، ويؤلف، بعد التجـفُّـف، مادة شافة تقريباً ذات مظهر قرني ويعـبّـر عنها أحياناً باسم غضار غرواني. وهذا الخليط الحميم لهذه المادة مع الانقاض الكوارتزية الحطامية هو الذي يؤلف الراسب الغضاري الذي ندرسه هنا.

العناصر الرئيسة في الغضاريات: هذه العناصر المميَّـزة للغضاريات، والتي تضفي عليها وتمنحها خصائصهـا الرئـيسة، هي بكلـيتها ألومينوسيليكـات مائيـة (مميّـهـة). فهي فلزات يصعب فصلها ودراستها (ومازال يكتشف منها أيضاً)، بل هي أيضاً أصعب تصنيفاً: فمنها ما هو مبلور أو خفي التبلور وما هو غير مبلور، حديدي ومغنيزي.

فالكاءولينيت وصيغتها $2SiO_2,Al_2O_3,2H_2O+xAq$ (حيث H_2O تمثـل المياه التركيبية و Aq مياه الرطوبة، وتكون هنا بكميات قليلة). ويوجـد في الغضاريـات (كاءولان) على شكل شذرات ناعمة صدفية ومجهرية التبلور. **وللهالوزايت الصيغة نفسها غير أن ٢** $= x$. وهي نوع خفي التبلور (واقعياً لا بلوري) للكاءولينيت والذي نصادفه في كثير من الغضاريات العاديـة. **والمونتموريلّونيت** وتدخـل في أساس غضاريات خاصة (بنتونيت، بيلون، غضاريات صابونية)، مرغوبة كثيراً في الصناعة. ورمزها $4SiO_2,Al_2O_3, H_2O, xAq$ ويدخل فيها أحياناً قليـل من المغنيزيـا. ولا تختلـف **البيديللـــيت beidellite** عنها إلّا بوجـــود ٣ جزيئـــــات من SiO_2 بدلاً من ٤. وفي **النونترونـــيت nontronites**، فإن الحديـــــد يدخـــــل **ويحل محل** Al أو $3SiO_2, (AlFe)_2O_3, H_2O, xAq$: Mg. ولهذه الفلزات الثلاثـعبنية خاصة ويزداد حجمها بامتصاص الماء، وتتقلص عندما تفقد هذه المياه.

---

(١) يمكننا على هذا النحو تفسير الترسيب السريع للأوحال الغضارية التي تجلبها الأنهار إلى البحر وتكون قريبة جداً من الشاطئ.

ولغيرها من الغضاريات مظهر غريب يذكّرنا ببعض الورق المقوّى (كرتون) أو المطلي بالزيت، وتكون مغنيزية، فهي تؤلف «كرتون الجبال»؛ باليغورسكيت $(4SiO_2, 3MgO, H_2O, 2Aq)$، سيبيوليت، آتّابولجيت.

غير أن المركبات الغضارية الأكثر انتشاراً، برأي ديفيير، هي تلك التي تؤلف غالبية الغضاريات العادية (تربة القرميد وفواخير)، هي **الإيلليت** أو **برافيزيت**، فهي غضاريات ميكاوية رمزها الخام: $K_2O, 6SiO_2, 3Al_2O, 2H_2O$، مع قليل من Fe, Mg, Ca، يحل في محل إيونات H.

ونذكر من بين سيليكات الألومين اللا بلورية، **الأللوفان** **allophane**، SiO_2, Al_2O_3, xAq وهو فلز ما زال غير محدَّد تماماً وفي الغالب هو خليط من هلامات غير متطورة من السيليس والألومين[1].

منشأ هذه المركبات الغضارية: لا يزال غامضاً وموضع جدل. ففيما يتعلق بالكاعولينيت، من المؤكد أنه يجب أن يتأتّى من تهديم الصخور الصفاحية (الفلدسباتية). ولقد رأينا فيما سبق أن الصفاح البوتاسي، في النطاقات السطحية من القشرة الأرضية وبتأثير المياه الحامضية أو الهيدروترمالية؛ أي المعدنية الحارة، يتفكك بتحلله بالماء أو الحلمأة. والرمز الخام لهذا التفسخ هو:

$$6SiO_2\, Al_2O_3\, K_2O + 2H_2O = 4SiO_2 + 2SiO_2Al_2O_3\, 2H_2O + K_2O$$

والسيليس المتشكل هو سيليس غرواني، وأن وجود حمض الكربون يحول دون تشكل K_2O إطلاقاً، غير أن البوتاس يُزال على شكل Co_3KH. وتنشأ هلامات مائية

---

(١) إن فقدان H_2O الاتحادية (أو التركيبية) يثير عدم تبلور الفلز. غير أن المركبات الغضارية الأكثر انتشاراً، برأي ريفير، هي تلك التي تؤلف غالبية الغضاريات العادية (تربة القرميد وفواخير)، هي **الإيلليت** أو **برافيزيت**، فهي غضاريات ميكاوية رمزها الخام: $K_2O. 6SiO_2, 3Al_2O_3\, 2H_2O$، مع قليل من Fe, Mg, Ca، يحل في محل إيونات H. إذ أن حالة التميّـه (الهدرتة) بالواقع هي التي تنظم السحنة البلورية لجميع الأجسام. ففي حالة التبلور المجهري لاتوجد إلّا المياه التركيبية، والشبكة تكون تامة، وتتميز حالة التبلور الخفي بشبكة ما زالت غير تامة تتمسّك، بالاضافة إلى المياه التركيبية، بمياه الرطوبة. يكون الفلز، في الحالتين الأخيرتين، مماثلاً إلى فيلليت؛ أي إلى شذرات انفصام الميكا (سيريسيت) دقيقة للغاية.

من السيليس والألومين وتبدأ بالتطور تدريجياً أثناء النقل وحتى لفترة زمنية طويلة بعده، نحو حالة التبلور الخفي، ثم التبلور المجهري الذي هو تبلور الكاعولينيت. وينجم عمّا تقدم أننا نصادف الفلزات الغروانية بالأحرى في الغضاريات الحديثة، الأكثر لدونة، بينما يرجح وجود المركبات البلورية في الغضاريات القديمة والتي تكون أيضاً هي الأقل لدونة.

وإننا نعلم أنه في النطاقات الأكثر عمقاً (نطاق السمنتة zone de cémentation) حيث تسود جريانات مائية ضعيفة، لكنها تكون متواصلة، يكون الصفاح الكلسي ـ الصودي وحتى الصودي متحولاً إلى سيريسيت (مسرتز) وفي هذا منشأ فيلليتات السيريسيت التي نصادفها أحياناً في الغضاريات.

إن الإيلليت هي غضاريات ناجمة عن الفساد وهي تنحدر من الميكا بالإماهة.

ويعتقد لونغشامبون أن الباليغورسكيت قد ينجم عن فساد الأمفيبول ويرى آ. لاكروا، أنه يمكن لبعض الميكا السوداء كالغلوغوبيت، بتأثير متطاول للمياه أن تتحول إلى سيبيوليت وحتى في بعض الأحوال، إلى خليط من مونتموريلّونيت وكاعولينيت (س. كايّير).

أما المونتموريلونيت فإنها مرتبطة بشرائط البحيرات الملحة اللاغونانية حيث يكون تجدد المياه ضعيفاً ولا تحذف القلويات بشكل تام.

بنية الغضاريات المجهرية: تبدو الغضاريات تحت عدسة المجهر، بلون رمادي دقيق. وعلى هذا القاع ذي المظهر غير المبلور، والغرواني، تظهر شذرات ناعمة من الكاعولينيت في الغضاريات الكاعولينية، أو سحابات ذات مظهر خفي التبلور في الغضاريات الهالوازية، أو تمازج هذين النموذجين.

لكن يجب الاعتراف بأنه ليس من الميسور تماماً تحديد مركّب غضاري ما بدقة بالمجهر، ولكي نتوصل لهذا التحديد نلجأ إلى طرائق أخرى نشير إليها بسرعة.

وسنرى أنه بفضل المجهر الالكتروني، أمكن معرفة بنية الجزيئات الغضارية الدقيقة بدقة، بالمشاركة مع التحليل الراديوكريستالوغرافي.

تحليل الغضاريات بالأشعة السينية (royons X) : نحن نعلم أن الأشعة السينية، وهي أشعة ذات أطوال موجية قصيرة جداً، تنعرج بالشبكات البلورية التي تلعب هنا دور شبكات في دراسة انعراج الضوء العادي حيث تكون أطوال الموجات كبيرة جداً. وكان فون لويه Von Laue أول من درس انعراج الأشعة السينية بواسطة ذرات بلورة، وبيّـن براغ Bragg أن إشعاعاً أحادي اللون لا ينعرج إلّا بزاوية ورود محـدَّدة تماماً (زاوية براغ) على مستوى الشبكية. ويُـرجع الانعراج عندها إلى انعكاس على هذا المستوي. إذاً توجد علاقة بين طول الموجة λ للإشعاع ومسافة المستويات الشبكية؛ فإذا كانت λ معلومة، أمكننا إذاً أن نستخرج هذه المسافة ونعود اعتباراً من هذه القيمة إلى تركيب البلورات المطلوب دراستها [1]، وهكذا أمكن وضع بنية عدد كبير من الفلزات وبخاصة بنية مختلف نماذج الغضاريات التي درسناها أعلاه.

وفي حالة الغضاريات التي تكون فيها البلورات مجهرية، فإنه من الضروري استعمال تقنية خاصة؛ وعندئذ يُـلجأ إلى طريقة ديبي وشيرر Debye et Scherrer التي ينعتونها بطريقة المساحيق. فترسل حزمة ضوئية دقيقة أحادية اللون على مسحوق بـلّوري ناعم (يكون المسحوق هنا من الغضار). فالجزيئات البلورية تكون كبيرة العدد لدرجة نجد معها دائماً كسرة بالاتجاه المطلوب لإحداث انعكاس براغ على المستويات الشبكية. فكل مستوى شبكي يعطي على هذا النحو موجة منعرجة يحدد مجموعها مخروطاً دورانياً محوره يتمثل بحزمة الورود وتكون زاوية رأس المخروط ضعف زاوية براغ. وتعطي صورة فوتوغرافية أثر جميع المستويات الشبكية، ومن هذه المخططات البيانية التي تعتبر ممـيِّـزة للغاية يمكننا أن نتوصل أيضاً إلى البنية البلورية للجسم موضوع دراستنا.

وإضافة إلى ذلك، فإن تحليل الغضاريات بالمجهر الالكتروني ساعد على تبيان طبيعتها **الجزيئية الجهرية Macromoléculaire**. من المقبول الآن أن جميع الغضاريات

---

(١) هذه المسافات هي بحدود الأنغستروم، $\frac{١}{١٠٠٠٠}$ من الميكرون أو $\frac{١}{١٠٠٠٠٠٠٠٠}$ من السنتيمتر.

هي تجمعات لجزيئات أولية مؤلفة هي نفسها من تكدس نوع من بُـلّيرات بدائية ذات أوضاع **وريقية** بسماكة بضع أنغسترومات. وفوق هذه الوريقات يحصل انعكاس الأشعة السينية، وتتكرر تجمعات الذرات إلا ما لا نهاية في كل وريقة محـدَّدة فيها نوع من **السمة المميّـزة motif-caractéristique**.

وهكذا، نجد أنه توجد وريقتان بدائيتان للكاءولينيت والهالوازيت، وثلاث للمونتموريلونيت، البيديلليت، البنتونيت، وترتصف على الشكل التالي :

كاءولينيت : وريقة سيليس مؤلفة من أربع رباعيات الوجوه SiO^4 ملتصقة وموجهة بالتوازي، ووريقة ألومين ثمانيّـة الوجوه (جيبسيت).

مونتموريلونيت : وريقتان من السيليس تحصران وريقة الألومين حيث تحل Mg جزئياً محل Al.

بيديلّيت : تحل Al جزئياً محل Si في وريقة السيليس، وجزيئات مائية تتدخل بين وريقات السيليس فتباعد فيما بينها.

بنتونيت : Mg تحل كلياً فيها محل Al، و Al تحل جزئياً محل Si.

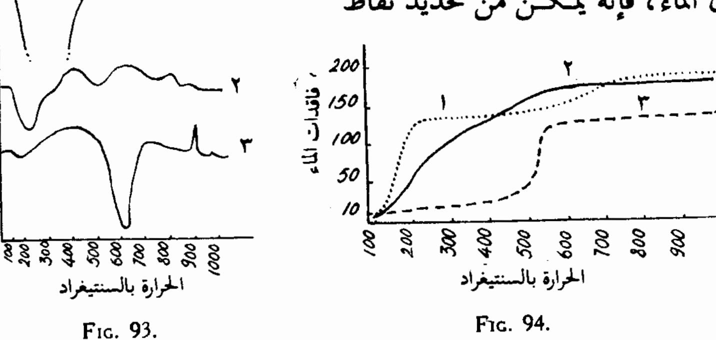
وتكون طيوف انعراج X لمختلف الغضاريات مميَّـزة للغاية ونحصل عليها بسهولة، مما يساعد بذلك على تحديد مختلف الغضاريات حسب أوضاع خطوط هذه الطيوف.

وهكذا يظهر الكاءولينيت خطين مشـدَّدين يقابلان 7A° و 3A°6؛ ويعطي المونتموريلونيت خطين مجاورين جداً للمركز المقابل للفارق الشبكي 15A°5 لوريقتين متتاليتين، والخطين الآخرين 5A°12 و 3A°12 متقاربين من خطي الكاءولينيت.

تحليل تفاضلي حراري للغضاريات : منحنيات حرارية ومنحنيات الإجتفاف (نزع المائية) : لقد دشّـن هذه الطريقة لو شاتيليه Le Chatelier الذي تمكن من تصنيف مختلف الغضاريات حسب نوع تصرفها حين الشـيّ (شكل ٩٣) فالشـيّ يحدد بالواقع الاجتفاف والتقسية «اكتساب القساوة»، وهي حادثات تترافق بتقلص

جَسيم بدرجة تقارب ٥٠٠°، وعندما تزيد الدرجة عن الألف فإنه يحدث تحوّل جزيئي حقيقي مع تشكل عناصر مجهرية لسيليكات ألوميني خاص، هو المولّيت، وهو غير ذوّاب في الحموض.

وإن كل منحنٍ حراري هو مميِّز لنموذج من فلز غضاري، إذ أنه بغض النظر عن انطلاق الماء، فإنه يمكّن من تحديد نقاط



شكل ٩٣ ـ **منحنيات تحاليل حرارية للغضاريات** (جورافسكي و أورسيل). ١، غضار ذو مونتموريلونيت. ٢، غضار ذو أتابولجيت، غضار ذو كاءولينيت.

شكل ٩٤ ـ **منحنيات نموذجية لاجتفاف الغضار**. ١، مونتموريلونيت. ٢، أتابولجيت. ٣، كاءولينيت.

تفاعلات ناشرة للحرارة أو ماصة للحرارة مميِّزة، فنتمكن بهذه الطريقة من الكشف عن مختلف مركبات خليط من الغضاريات.

وهكذا يصيب الكاءولينيت تباطؤ في الحرارة (حادث امتصاص الحرارة) بدرجة تقارب ٥٠٠ ـ ٦٠٠° (فهو يخسر ماءه المرطابي) وتسارع (حادث تفكك) بدرجة ١٠٠٠°. ويبدأ التباطؤ مع الهالوازيت بين ١٥٠ إلى ٢٠٠°، ثم يخسر الهالوازيت ماءه الاتحادي اعتباراً من ٤٠٠°، ويعود التسارع بدرجة تقرب من ١٠٠٠°. أما فيما يتعلق بالمونتموريلونيت. فيحدث تباطؤ تعقبه فترة توقف للتسخين تحصل بدرجة ٢٠٠° تقريباً (ضياع الماء المرطابي) بدرجة ٧٧٠°.

ومن جهة أخرى فإن حرارات الاجتفاف تعتبر بين «المميزات» لمختلف نماذج

الغضاريات. وكذلك فإن منحنيات الاجتفاف تساعد على تحديد ماهية أنواع المركبات الغضارية لصخر غضاري موضع الدراسة. ويمكن تحقيق الاجتفاف بدرجة حرارة متصاعدة بانتظام تبعاً للزمن. أما خسارة الوزن فتقاس تبعاً لتحولات الحرارة وتقابل نسبة الماء (شكل ٩٤).

خصائص الغضاريات: تكون جميع الغضاريات قابلة للعجن وتعمل عجيناً مع الماء، وهذه الخاصة هي **اللدونة plasticité**. ويميّز من وجهة النظر هذه، الغضاريات **الدسمة grasses**، وهي الأكثر لدونة، والغضاريات **اللادسمة أو الهزيلة maigres**، وهي الأقل لدونة والتي يبقى ملمسها خشناً بسبب وجود حبات من المرو. ويرى ل. برتران و آ. لانكين، وذلك خلافاً للاعتقاد السائد، بأن صفة كون غضار دسم إلى حد ما لا تعني وجود أية علاقة مع محتواه من الألومين والسيليس ويبدو أن هذه الخاصّة منوطة فقط بالبنية الفيزيائية لمختلف مركبات الغضار وبوجود سيليس غرواني أو مرو بحالة حبات ذات نعومة متناهية [1]. وإجمالاً، يمكن الإقرار بأن الغضار، مؤلف من جزيئات صغيرة فيلليتية مجهرية لا تحصى (لا تتجاوز ٠٫٠٠١ مم)، أو ما فوق المجهرية مفصولة عن بعضها بصفيحيات رقيقة جداً من الماء («ملاط مائي»)، وأن التحام المجموع منوط بالتوتر الشعري في الخيوط السائلة. وهكذا تفسر اللدونة؛ أي أن الغضار، إذا ما تشوّه، فإنه لا يعود إلى شكله الأصلي.

وفي حالة كون الضغوط الضعيفة، فإنها لا تمارس عملها إلّا على السائل، ويتصرف الغضار عندها كجسم مرن élastique، ويكون التشوّه نهائياً مع ضغط أشد، ولكن دون انقطاع ونكون بحالة السيلان اللدن، ومن هنا خطر الغضاريات في المكمن، مما قد يؤدي إلى انزلاقات في الصخور [2].

(١) وكذلك فإنه لا يمكن الإقرار أبداً بأن يكون لنارية غضار ما؛ أي مقاومته للحرارة refracterité علاقة بغناه بالألومين. ويبدو أن قدرة نارية غضار ما تنقص بوجود بعض الأجسام: مثل مركبات حديدية أو منغنيزية، كلس وسيليس مجزأين بنعومة كبيرة (حالة شبه غروانية).

(٢) تختلف الغضاريات عن الرسوبات المسامية كالرمال بكونها تفرز مياهها التبللية ببطء شديد وهكذا «فالغضار اللدن» الذي يعود لإيوسين حوض باريس ينتفخ أيضاً تلقائياً.

غير أن لدونة غضار ما منوطة أيضاً، إلى حدّ كبير، بطبيعة مياه التبلُّل الكيميائية (وجود الكترو ليتات). وسنرى أيضاً أن علينا القياس على ذلك فيما يتعلق بخاصية أخرى للغضاريات ألا وهي **الكتامة أو اللا نفاذية inperméabilité**.

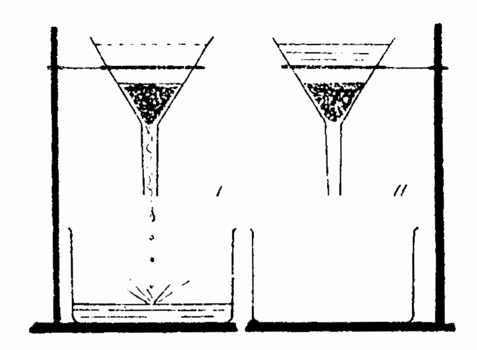
ومن الناحية العملية، يعتبر الغضار بمثابة جسم كتيم يحتفظ بالماء، ويحدد المستويات الحاملة للماء عندما يوجد في سلسلة متوالية من الصخور ويوجّه الينابيع ... إلخ. والحالة هذه، فإن التجربة التالية، ستطلعنا على أن هذه الخاصة هي نسبية للغاية (شكل ٩٥). لنسكب ماءً قليل الملوحة، على غضار صودي موضوع في قمع، فالسائل يمرّ، ولكن الغضار يبقى كتيماً إذا كان الماء مقطراً عذباً. ويمكن تفسير هذه النتائج على الوجه التالي: في الحالة الأولى، وبتأثير كلور الصوديوم الموجود بالماء، فإن الذرات الحكمية micelles الغضارية بإمكانها أن تتكتل مشكلة خُثيرات صغيرة، فالغضار يتندّف[1]، وفي الحالة الثانية، فإن الجزيئات الغروانية تعود إلى حالة عالقات، فالغضار يُزال ندفه (**Sol** أو محلول غرواني في سائل) وينفذ لكل مكان ليسدّ أصغر المسامات ومؤدياً بذلك إلى عدم نفاذية المجموع.

غير أنه يتوجب علينا أيضاً إدخال امتزاز أو (ادمصاص) الماء الذي بإمكانه أن يؤدي لانتفاخ الجسيمات الغضارية (بخاصة جسيمات الهالوازيت، مركّب شائع للغضاريات) ويؤدي إلى إنقاص فعلي للمسامات. إن الدور المضاعف هذا، والحالة هذه، يمكن أن تقوم به أملاح حيادية، تعتبر، إذا ما توفرت بها بعض الشرائط من التركيز، نادفات جيدة تقريباً، وتؤدي لانتفاخ الهالوازيت. وإذا كانت بعض الإيونات (CO^3H, CO^3)، وهي شائعة في الطبيعة (مياه المطر، محاليله قلوية ممددة)، لا تعاكس الامتزاز ولا تمنع كتامة الغضارية، فإن غيرها، وهي ليست أقل شيوعاً ومتأتية من

---

(١) إننا نعلم أن هذه الظاهرة يمكن أن تذهب إلى أبعد من ذلك (في بعض حالات تجريبية للغروانيات) وأنه يمكن التوصل (إذا كانت الذرات الحكمية عديدة وغليظة بما فيه الكفاية) إلى **هلام** يجتاح السائل بكلّيته. إنها ظاهرة **التخثير** أو **التجلُّط Cogulation**.

تفكك بعض أملاح حيادية ($MgCl^2$, NaCl, SO^4Ca) ... إلخ) تقاوم هذا الامتـزاز، ومنـدِّفة عندما تكون ذات تراكيز ضعيفة، تصبح مزيلة للندف بالتركيز المرتفع[1].



شكل ٩٥ ــ نفاذية الغضاريات.
I، يصب ماء ضعيف الملوحة على غضار صودي. فالغضار يتنـدَّف، والسائل يمر في القمع. II، نضيف على الغضار نفسه ماءً عذباً مقطراً، أو ماءً ملحاً مركزاً. فيخسر الغضار ندفه، ويصبح سائلاً، غير أنه يبقى كتيماً، ولا يمر أي ماء في الإناء.

فنرى إذاً أن الغضاريات (والمارنـيّات) قد تكون كتيمة لمياه الأمطار ونفوذة جداً بالنسبة لمياه الينبوع حيث يقاوم التمعدن انتفاخ الهالوازيت ويثير ندف الغضار.

وبالاختصار فإن تعريف الغضار لا يصبح تاماً إلا إذا أخذنا بعين الاعتبار السوائل التي تبلّله والتي هي في أغلب الأحيان الكتروليتات تحتوي دائمـاً على ايونات H و OH ناشطة للغاية. فنرى إذاً في آخر المطاف أن العامل الرئيسي لإزالة ندف الغضاريات هو التركيز بإيونات H، وبتعبير آخر بالـ pH.

وهناك خاصة أخرى هامة للغضاريات، تتمثل بإمكانيتها، عندما تكون بشكل عالقات في الماء، تبادل كاتيونات (ايونات +). ويمكننا من وجهة النظر هذه، أن نميِّـز غضاريـات حمضيـة، صوديـة، كلسيـــة، متصفـــة بخصائص فيزيائيـــة مختلفة. وهكذا:

غضار كلسي + محلول من NaCl ⇌ غضار صودي + $CaCl^2$
غضار صودي + ماء ثنائي الكربونات كلسي ⇌ غضار كلسي + $2NaHcO^3$
غضار صودي + ماء كبريتاتي كلسي ⇌ غضار كلسي + So^4Na^2

---

(١) إن إزالة تنـدُّف الغضار يزداد مع اللدونة. ويعرف جميع الفاخوريين أن من السهل زيادة لدونة الغضار بمعالجته بحجم صغير من محلول قلوي من أن نعالجه بزيادة كمية كبيرة من الماء. والغضاريات الترياسية التي تسيِّر بعض ينابيع حارة كبريتاتية في الغرب المرّاكشي، تكون بسبب ذلك دائماً بحالة طين مائع. ومن جهة أخرى، فإن وجود أملاح كلس (منـدِّفة) في مياه البلاد الكلسية يفسر وجود مياه أنهار مثل هذه البلاد بحالة رائقة للغاية دائماً.

وتشكل الغضاريات الحمضية (التي ثبّتت ايونات H) بعض ترب فقيرة، ومغسولة. وتؤلف الغضاريات الصودية العنصر المميِّز للترب المالحة والتوضّعات البحرية. وأخيراً فإن الغضاريات الكلسية تؤلف الترب العادية وتوضعات المياه العذبة. ومن المحتمل أن تحصل هذه التبادلات بواسطة أجسام امتزازية (غروانيات، مواد عضوية، حبات ناعمة تقريباً من المرو) قابلة لتثبيت بعض إيونات لتردّها إلى محاليل أخرى ويمكننا بذلك أن نفسر التطور والتبادلات التي طرأت على الطبيعة الكيميائية لبعض الطبقات العميقة الحاملة للماء والحاوية على أجسام غير عادية.

وأخيراً، فهناك خاصية للغضاريات هامة من الناحية الصناعية، وهي إمكانية شيِّها للحصول على خزفيات ثابتة.

وتتعلق هذه الخاصيّة بنعومة الغضار، بنقاوته (عدم وجود رمل، ميكا، كلس)، وبدرجة حرارة انصهاره (تبقى هي نفسها تبعاً للمركب الغضاري الأولي). ويبقى الكاءولان هو الذي يقدم طبعاً أفضل المستحضرات الخزفية، بسبب نقاوته والنعومة الكبيرة لحبّاته.

بعض نماذج الغضاريات: تتألف معظم الغضاريات العادية أساساً من إيلليت وهالوازيت، مع خليط من الكاءولينيت. ونذكر من بين أكثرها انتشاراً غضار حوض باريس الشهير واللدن الذي يعود للإيوسين الأدنى (سبارناسي)، سماكته خمسون متراً ويستقر على الحوار، وغضار الفلاندر Flandres، الذي له سماكة تقدر بمئة متر، ويعود للإيبريسي. وهناك غضاريات أخرى أكثر حداثة، هي غضاريات بليوسين وادي الرون وسوفلنهايم في الألزاس. وتستغل جميع هذه الغضاريات كترب لصناعة الخزف.

والغور أو **التونستاين** **gores ou tohstein**، هي غضاريات خاصة، قاسية، ذات لون أبيض رمادي تبدو بمظهر الرماد، ونصادفها متداخلة في الفحمي لمركز فرنسا وألمانيا، وتدين بخصائصها إلى وجود الليفريريت Liverriérite، وهو نوع من ميكا بيضاء بوتاسية، وكاءولينيت، مجتمعين بلورياً مع تشابه بترتيب الذرات في الوجوه المشتركة épitaxique.

وتتمثل الغضاريات على أساس المونتموريلونيت بالبيلونة terre à foulon المسماة أيضاً بنتونيت، وترب مزيلة للألوان، وغضاريات صابونية، وترب سوميير، كاربانتراس... إلخ، وهي لا تصلح للخزف، إذ لا تشكل عجيناً لدناً مع الماء. ونجد بين هذه الغضاريات مايتمتع بقدرة كبيرة على إزالة اللون ومزود بقدرة امتصاص طبيعية. وهاتان الخاصتان مرغوبتان جداً لتنقية الزيوت، والبترول، والشحوم... إلخ. وهناك أنواع أخرى لاتكتسب هذه الخاصة إلّا بنتيجة تنشيط بالمعالجة بحمض ممدَّد بالساخن، مما يؤدي إلى تفسُّخ المركب الغضاري، واستذواب الألومين، وتحرير السيليس اللا بلوري الذي له قدرة امتزازية معروفة جيداً. ولهذا الغضار الخام خاصة التفتت بسرعة بتأثير المياه. وذلك بانتفاخه (يمكن لبعض البنتونيت أن يمتص حتى ثماني مرات من وزنه ماءً)[1]. يكون لونه على الأغلب أخضر إلى رمادي ونصادفه، بخاصة في الزمر البحيرية المالحة وبشكل خاص في إيوسين الحوض الباريسي، والبروفانس واللانغدوك... إلخ.

ب ــ غضاريات متبقية

هي بخاصة غضارية تشكلت في مواقعها وبنتيجة تفسخ بعض الصخور.

فالكاءولان Kaolin غضار أبيض مؤلف من الكاءولينيت فقط، ويتأتى من تفسُّخ صفاح الصخور الغرانيتية بتأثير العوامل الجوية (الكولنة). وتوجد المكامن الفرنسية الكلاسّيكية في ضواحي ليموج وتنجم عن فساد بغماتيت ذي عناصر ضخمة، تبعه نقل بمياه السيلان. وأن أجمل المنتجات المستعملة في صناعة الخزف تتأتى من هذه المكامن.

وهناك أنواع أخرى من الغضاريات المتبقّية قد تتأتّى من تفسُّخ صخور بلورية متنوعة (غنايس، ميكاشيست، رسوبات قديمة) وتكون غالباً غنية جداً بالألومين

(١) يمكن لبعض أنواع البنتونيت أن يعطي على هذا النحو هلاماً حقيقياً، صلداً بحالة الراحة، غير أنه قابل للتميع فجأة بالتحريك (حادث التميعيّة Thixotropie، الذي بإمكانه أن يظهر عند غرزنا أوتاد بشكل عنيف في أمثال هذه الصخور أو في أوحال).

حيث تتمكن زيادته من تشكيل ماءات، وهي فلزات مميزة للصخور التي سندرسها فيما بعد تحت عنوان لاتيريت وبوكسيت. ولهذا دعيت هذه الغضاريات **غضاريات بوكسيتية**.

أما **التربة الحمراء terre rossa** أو غضار المغاور فهو بقية تأكلس الصخور الكلسية النقية. ولقد أدّى هذا الحادث في نهاية الإيوسين وبداية الأوليغوسين، إلى تشكل **السيديروليتيك**، وهو غضار أصفر مشحون بليمونيت حمّصي ويبدو بشكل طبقات غير منتظمة أو بشكل جيوب، بخاصة في كلس الجورا الجوراسي. وقد نشأت نماذج مختلفة من **الغضار ذي الصوان argiles à silex** من تأكلس حوّار الحوض الباريسي، ولكن، كما دلّت أبحاث براجنيكوف، فتحت غطاء من توضعات ثالثية أو رابعية، أو بعامل مشابه يمكن أن يؤدّي لتشكل الترب المسماة بـ **بودزول podzols**. وتكون هذه الغضاريات ذوات السيلكس أو الصوان غنية بالبقايا العضوية السيليسية (أشواك الإسفنجيات، إسفنجيات مسيلسة silicifiès) وبكرويات من الأوبال والكالسيدوان، وبصوان الحوّار.

وقد تمخض التأكلس الكثيف، الذي حصل في منطقتي الإيزير والدروم،

شكل ٩٦ — **منتجات متبقية (بوكسيت ورمال نارية)**. I، شرائط تكمّن البوكسيت. البوكسيت (b) بشكل طبقات غير منتظمة مع جيوب، بين الكلس الأورغوني (Ur) وكلس الكريتاسي الأعلى (A). II، شرائط تكمّن الرمال والغضاريات النارية في الدوفينيه (e، جيب من الرمال الإيوسينية في الأورغوني، Ur، والكريتاسي الأعلى. Cs مغطاة بمولاس الميوسين، m).

خلال الإيوسين الأدنى، والذي اعترى الصخور الكلسية الكوارتزية العائدة للسينوني والألبي، تمخض عن التشكيلة المعروفة باسم **رمال وغضاريات** (مبرقشة) **bigarrés**

وهي غضاريات حمراء (أوكسيد الحديد) أو بيضاء، تترافق مع رمال سيليسية أو كاءولينية مبقعّة تشكل جيوباً في الصخور الكلسية الكريتاسية. (أورغوني أو سينوني) (شكل ٩٦، II). وتستعمل، حسب تراكيبها، كرمال لصناعة الزجاج، ومواد نارية أو خزفية.

جـ ـ لاتيريت وبوكسيت

إنها صخور تشبه غضاريات قاسية، غير أنها لا تعمل عجيناً بالماء، إضافة إلى أنها متميزة بوجود ألومين مائي.

اللاتيريت، هي منتجات غضارية المظهر تميل للإحمرار، سيليسية تقريباً وحديدية (تخثرات أو هيدروكسيدات حمّصية للحديد). وحاوية على فلزات غضارية وماءات ألومين مسيطرة (فلزات لاتيريتية). وتنشأ هذه اللاتيريت في البلاد المدارية والرطبة على حساب الصخور البلورية (غرانيت، سبينيت، بريدوتيت، شيست بلوري... إلخ) التي تكسوها أحياناً بقشرة سميكة متواصلة. ويمكننا المرور تدريجياً من اللاتيريت (نطاق التخثر) إلى الصخر السليم، بواسطة منتجات انتقالية تؤلف نطاق الانطلاق، والذي يحسب أيضاً مع اللاتيريت. وقد تكون اللاتيريت في أغلب الأحيان مخبأة تحت درع حديدي.

وتتشيَّد هذه اللاتيريت إعتباراً من سيليكات قلوية (صفاح) تتحول أولاً إلى كاءولان، كما يحصل تحت المناخات المعتدلة لكن تمزّق النواة الكاءولينية يعطي هنا بدوره ألومين اللاتيريت الحر. ولا نزال نجهل أيضاً كيفية حصول هذا الفساد.

ويفكر بعض المؤلفين بتدخل كيميائي حيوي (بكتريا)، ويثير غيرهم تأثير مواد غروانية. ويبقى شيء واحد مؤكد، هو أنه لا مندوحة عن الحر والرطوبة وأن ما ينظم تشكل اللاتيريت هو اتساع تحولات المستوى الهيدروستاتيكي (المستوى الراكدي للماء) الناجم عن فصل الأمطار والتبخر الشديد الذي يعقبه، وكذلك تبلل الصخور المستمر. ونشير إلى أن بعض اللاتيريت، في غينيا، قد نشأ اعتباراً من

غضاريات رسوبية وأن من اللاتيريت في افريقيا الغربية، ما هو الآن بوكسيت حقيقي، وأخيراً فإن اهرارت أشار إلى وجود لحقيات من منتجات لاتيرتية في حوض النيجر الأوسط.

وقد حصلت التحولات اللاتيريتية في غضون الأزمنة الجيولوجية، وبخاصة في الكريتاسي، في حين كان يسود مناخ مداري في بلاد مناخها معتدل الآن، وقد أدّت هذه التحولات إلى تشكل صخور تدعى **بوكسيت**. وهي صخور وردية اللون أو محمرّة، وذات تركيب معقد، وحاوية على حديد حمّصي وكربونات الكلس، وبخاصة ماءات الألومين ($Al^2O^3H^2O$) مبلورة (هيدرارجيليت أو جبسيت) أو لا مبلورة، وفلزات غضارية (كاءولينيت، هالوازيت)، وسيليس بكميات متحولة، وحديد (هيماتيت، أوليجيست، تيتان). وتتعلق قيمة البوكسيت، كركاز الألومينيوم، بغناه بماءات الألومين (بوكسيت أحمر). وتستعمل الأنواع الغنية بالسيليس SiO^2 (بوكسيت أبيض) كمواد نارية أو تفيد في صناعة خاصة تدعى : Electro-fondus.

ويقع المكمن الرئيسي للبوكسيت في فرنسا في منطقة بو Baux في البروفانس وضواحي طولون؛ فالبوكسيت يشكل فيها طبقة غير منتظمة على الأورغوني المتآكل وهو مغطى بالكريتاسي الأعلى ذي السحنة المالحة، (شكل ٩٦، I). فهو هناك ذو عمر كريتاسي ويقابل دور طفو مضيق (برزخ) الدورنس الأدنى، الذي دام أثناء الأبتي والألبي. وفي مواضع أخرى، في الهيرو Hérault، فإنه متداخل بين كلس الجوراسي والألبي. غير أنه يمكننا القول مع كولّلو أن «البوكسيت يمتد طغيانياً على مختلف الطوابق من تحت اللياس إلى الأورغوني، وهو مغطى طغيانياً بالطوابق التي تذهب من السينوماني حتى الدانيان البحيري».

د ـــ الشيست وصخر الألواح الحجرية (الأردواز)

الأرجيليت هو صخر غضاري قاس أصبح متورقاً نتيجة أفعال ميكانيكية (استحالة ديناميكية، التواء). وعندما تكون هذه الأفعال شديدة للغاية وتحصل تحت

غطاء وازن، فإن الصخر يصبح عبارة عن **شيست Schiste**، أي صخر يمكن أن ينفصم إلى وريقات رقيقة حسب اتجاه عمودي على الدفع، أي مستقل عن التطبق. وهناك شيست غضاري وشيست مارني حسب ما تصيب هذه التحولات غضاراً أو مارناً. وتطلق لفظة شيست أمبيليتي أو **أمبيليت**، على شيست أسود فحمي. ولقد أصبحت جميع الصخور تقريباً شيستية، في المناطق الجبلية أو المناطق التي لحقها الطي قديماً بحيث لم يبق منها سوى جذور الطيات.

وهذه هي الخاصة المستعملة في صخر **الألواح الحجرية (الأردواز)**. فالألواح الحجرية الجيدة هي شيست سيليسي ــ غضاري يتقطع إلى وريقات رقيقة مقاومة للغاية ومدينة بهذه الخاصة الأخيرة إلى بداية استحالة أثارت تشكل فلزات جديدة (صفيحيات ناعمة فيلليتية متشبكة حسب الشيستوية). وإن أحسن الأجناس في فرنسا هي التي تستخرج من أراضي الحقب الأول وبخاصة التي تعود للكامبري، إنها تتأتّى بخاصة من آنجو، الآردين، ماين والبريتاني.

ونذكر في الألب شيست اللياس، الجوراسي والفليش الثالثي والتي تستثمر محلياً كألواح حجرية. غير أن هذه المنتجات ليست من الجنس الجيد، بسبب وجود كلس من شأنه تسهيل تفتت الصخر ويعطي طلاءً أبيض بنتيجة تأكسد مواد السطح العضوية. ويطلق الجيولوجيون الفرنسيون اسم **غرواك** على الشيست السيليسي الحاوي على مستحاثات، المتأكلس حيث لا توجد المستحاثات إلّا على شاكلة قوالب مجوَّفة.

III ــ الصخور السيليسية

ندرس هنا الصخور التي تتميز بنسبة عالية من السيليس الذي ليس من أصل حطامي، بل عضوي أو كيميائي.

أ ــ صخور سيليسية عضوية

وهي مؤلفة بشكل رئيسي من تجمع قشور متعضّيات سيليسية (شعاعيات،

مشطورات) أو من تجمع بقايا هياكل الإسفنجيات السيليسية، بدون أو مع ملاط سيليسي. وهي ليست من الصخور الشائعة الانتشار كثيراً.

لنذكر **الراديولاريت** (صخور الشعاعيات)، وهي صخور متراصّة قاسية للغاية ومميزة بوجود أعداد لا تحصى من الشعاعيات التي ليس لأصدافها دائماً طبيعتها السيليسية الأصلية من الأوبال (ويمكن أن تكون قد تحوّلت إلى كالسيدوان، كلوريت، أوكسيد الحديد... إلخ). وتكون هذه الأصداف غارقة في عجين سيليسي بشكل رئيسي. تلك هي رسوبات، بالأحرى، عميقة، لكن، بما أنها تحتوي على فلزات رضيخية أرضية المنشأ، فإنه لا يمكن دائماً مقارنتها مع أوحالنا الحالية ذات الشعاعيات. ومع هذا فإن دراسة راديولاريتات تاتراس (جوراسي أوسط) والألب (جوراسي أعلى) قد مكّنت سيكوكي وكايّو، من التثبت من أنها تمثل تماماً ما يعادل رسوبات الأعماق السحيقة ذات الشعاعيات. ونصادف الراديولاريت في ديفوني الفوج (فتانيت ذات شعاعيات) وكربوني أوروبا المركزية والبيرينيه. أما راديولاريت الألب، التي هي صخور جميلة ذات حبات ناعمة جداً وحمراء على العموم، ونادراً ما تكون خضراء، فإنها تعود للجوراسي الأعلى في المناطق الداخلية. ونجدها على شكل حصى في صخور المولاس الكونغلوميراتية (الرصيصية)، وفي لحقيات نهر الراين Rhin (شكل ٩٧، I و II).

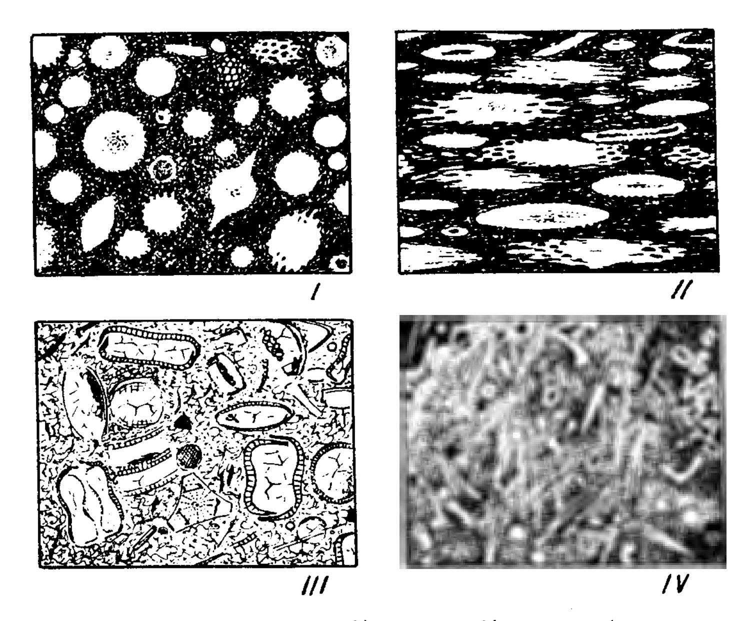
ويطلق اسم **فتانيت** على صخور تكون بخاصة باليوزوية، (حقب الحياة القديمة)، سيليسية، مشحونة نوعاً ما بمواد غرافيتية، وهذا ما يميزها عن الراديولاريت والليديان (أحجار الحك) ومتطبقة بنعومة وغنية على الأغلب بالشعاعيات.

وتشكل بعض الصخور، ذات شعاعيات، غير المتماسكة باسمنت سيليسي **الطحين المستحاثي**، نجد منها في الثالثي (ايطاليا، جزر البارباد والترينيتة).

وتكون **الدياتوميت**، ويطلقون عليها أيضاً اسم راندانيت **وكيزلغور**، رسوبات **ذات مظهر** طحيني، وغالباً ما تكون بحيرية، تتألّف بكليتها من تراكم شويكات

سيليسية (أوبال)[1]، وطحلبيات صغيرة جداً Algues تدعى مشطورات (شكل ٩٧، III)، ونجد منها في فرنسا، في الكتلة المركزية وبخاصة إلى القرب من ناحية راندان، ومن هنا جاء اسمها. وتكون مرغوبة كثيراً لاستعمالها كسحّاجات (صخر طرابلس)، وعازلات حرارية، وماصّات... إلخ.

ونُصادف أهم مكامن الدياتوميت في أمريكا الشمالية.



شكل ٩٧ ــ **صخور سيليسية**. I، راديولاريت (شيست لامع، ضواحي بريانسون). II، دياتوميت اليابان (ملاط كلسي ــ سيليسي مع عدة بقايا من (frustules) مشطورات سيليسية. IV، سبونغوليت من الكريتاسي.

أما الرسوبات السيليسية عضوية المنشأ الأكثر شيوعاً فهي التي نشأت على حساب هياكل الإسفنج السيليسي، تدعى **غيز gaizes** أو **صخور الإسفنجيات (سبونغوليت)** (شكل ٩٧، IV). وهي تتألف بخاصة من شويكات من الأوبال أو الكالسيدوان، كما أنها تتألف أيضاً من عدد كبير من كريات صغيرة من الأوبال مع

---

(١) هنا، بخلاف ما يحدث بشأن الشعاعيات والإسفنجيات، فإن الأوبال العضوي الذي يؤلف الشويكات لا يكون متحولاً أبداً إلى كالسيدونيت؛ أي فلز الكالسيدوان، وربما كان عدم التحول هذا هو الذي يفسر ندرة الدياتومة (المشطورات) في بقية الصخور الرسوبية.

نسبة من المرو الرضيخي الذي قد تصل نسبته إلى ٥٠٪. وجميع هذه العناصر ملتحمة بملاط غضاري ــ كلسي مشرَّب بالسيليس. غير أن الصخر مسيْلس دائماً بكليته تقريباً. ونصادف الغيز بفرنسا في أوكسفوردي الآردين، وسينوماني الآرغون وبيرّي. وتلحق بهذه الصخور **أحجار الطفّو أو الرحى Tuffeaux ou Meules** التي تعود لثالثي شمال فرنسا وبلجيكا حيث تلعب فيها شويكات الإسفنجيات الدور الرئيسي.

وتطرح هذه الصخور، وبخاصة الراديولاريت والسبونغوليت، مسألة تتعلق بمنشأ سيليس الملاط. من المحتمل أن يتأتّى هذا السيليس بصورة جزئية من السيليس الذوّاب (أوبال) الذي كان يشكل هيكل الشعاعيات والاسفنجيات، ومن جهة أخرى من سيليس الفيلليت وبقايا غضارية دقيقة كانت تعوم في مياه البيئات التي تعيش فيها هذه المتعضيات، والتي كانت تستعملها من جهة أخرى لإشادة هياكلها.

أما راديولاريتات نطاق الشيست اللامع، في الألب الفرنسية، فتجتمع غالباً مع الصخور الخضر، التي ربما كانت تشكل الغذاء السيليسي لأفواج الشعاعيات (ستينمان Steinmann). وهذا هو أيضاً رأي شنيدرهولم (Schneiderhölm) الذي يفترض ضرورة احتواء مهل الصخور الخضراء على نضوحات حارة (exhalaisons) وغنية بـ $FeCi^3$ و $SiCi^3$ (أصل مكامن الحديد) و SiO^3 من شأنها إعطاء أملاح سيليسية تظل بحالة عالقة مستمرة وقابلة للاحتفاظ بالشعاعيات. وغالباً ما يوجد منغنيز في هذه المكامن بحالة ثانوية من سيليكات. وفي هذه النظرية الجيوكيميائية عن تشكل الراديولاريت، فإن هذه الصخور، عندما تترافق مع صخور خضراء، لا يعود لها إذاً أي معنى عمْقي بحري «أي يتعلق بسبر عمق البحر» ولا تعود دليلة مؤشرة على الأعماق الكبيرة.

ب ــ صخور سيليسية من منشأ كيميائي

يحتوي ماء البحر على قليل من السيليس المنحل، غير أن المياه العذبة تحتوي دائماً على كمية أكبر منه، مما يجعل الرسوبات السيليسية كيميائية المنشأ كثيرة

الشيوع في التشكيلات البحرية. ويمكن أن نذكر من بين هذه الأخيرة **أحجار الرحى meulière** وهي صخور كلسية مسيلسة منزوعة الكلس (متأكلسة) تقريباً وتشكل أفقين في أوليغوسين حوض باريس: كلس البلوس (سانوازي) وكلس البري (اكيتاني ـــ شاتي). ويكون لأحجار الطواحين منزوعة الكلس (المتأكلسة) بالمياه السطحية الحمضية، مظهر كهفي أو فراغي من جراء تلاشي الكلس واستمرار اللحمة السيليسية، وتكون ذات لون محمرّ ناجم عن الأكسدة المائية للحديد (شكل ٩٨، III). وهذه الأحجار ممتازة للبناء وكثيرة الاستعمال في المنطقة الباريسية.

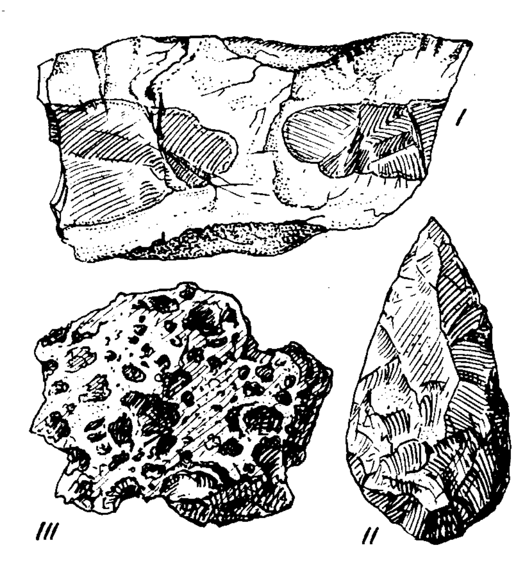
أمّا ترسُّب السيليس، فبدلاً من أن يحصل على نطاق واسع، يمكن أن يتم إفرادياً ويعطي تخثرات سيليسية متنوعة نصادفها في الرسوبات البحرية كما ونصادفها في الرسوبات البحيرية. ونذكر بادئ ذي بدء **الصوان Silex**، وهي عوارض سيليسية في وسط كلسي، شكلها غير منتظم، يتمثل على العموم على شكل كليات ضخمة نوعاً ما، منعزلة أو متحدة لتشكل نطاقات مستمرة في طبقة رسوبية (شكل ٩٨، I). وسيليس الصوانات هو الكالسيدوان، غير أنها تحتوي أحياناً على قليل من الأوبال. ومن المتفق عليه بالواقع أن هذه التخثرات نشأت في غضون التوضع، أو في داخل التوضع نفسه المشكّل، بترسب أو تركيز السيليس الغرواني الموجود في مياه البيئة [(١)]. وغالباً مالعب مستحاث، مثل قنفذ البحر أو إسفنج، دور قطب جذب. وقد تصلّب هذا السيليس فيما بعد على شاكلة سيليس مميَّه، أو أوبال، ثم انتهى الأمر بأن تبلور بشكل كالسيدوان. وللصوان لون أشقر أو أسمر وأحياناً أسود، ويحاط غالباً بقشرة مائلة إلى البياض. وإذا ما تزحزح ومكث مدة في اللحقيات، فإنه يغطّى

(١) رأينا أن هذا السيليس المنحل قد يتأتى من مصدرين: أوبال المتعضيات ذوات الأصداف أو الهياكل السيليسية، ونقصد بخاصة هنا الإسفنجيات، فيلليت غضارية، في الوسط المائي نفسه. ونضيف إليها مصدراً إضافياً ناجماً عن ترسيبات السيليس من جراء تفسخ الغضار بفعل كباريت قلوية. يمكن أن نسرِّع بدقة تجلُّط السيليس بكمية ما من حمض أو من كلور الصوديوم، مما يفسر تشكل الصوان الشائع في الأوساط البحرية.

وأخيراً، فإننا نعلم السهولة التي تتمكن بها المواد العضوية (بروتوبلاسما) من تثبيت السيليس المنحل في المياه، مما يفسر السيلسة الشائعة وتحولات الإسفنجيات المستحالة إلى صوان.

بطلاء أبيض ناجم عن انحلال ما تبقى من أوبال، وعن ظهور أعداد لا تحصى من الفجوات الصغيرة على سطح الصوان التي تملأ بالهواء. وأجمل الصوان صوان الحوّار Craie وينعتونه بـ حجر النار، له شفوفية خفيفة واعتبر المادة الأولية لصناعة إنسان ما قبل التاريخ (شكل ٩٨، II) وحتى لزمن بعيد من خَلَفه (صوانة البنادق وصوان القداحات).

وهناك **الشايل Chailles** وهي صوانات غير مكتملة، كلسية بقسم منها ولا تزال تعمل فوراناً مع الحموض وغالباً ما تكون أيضاً إسفنجيات ومتشعّبات. وليس لها طلاء وتكون دائماً تقريباً من منشأ بيني في الرسوبات **intra sédimentaire**: أشهرها، بسبب المستحاثات التي تحتوي عليها، هي شايلات كلس الجورا الكالّلوفي ـــ أوكسفوردي.



شكل ٩٨ ـــ **صخور سيليسية** (بقية) I، شظية من ساف من الكلس ذي صوان، سينوني (ضواحي غرينوبل). II، سيلكس منحوت (باليوليتي «العصر الحجري القديم»). III، حجر طاحون بري (أوليغوسين).

وتطلق لفظة **شيرت Chert**، عن الانكليزية، على عوارض سيليسية في وسط سيليسي. وهي عبارة عن كومات سيليسية، سيئة التفرّد، مؤلفة من خليط من

الأوبال والكالسيدوان، بالإضافة إلى شويكات الإسفنج، نصادفها بخاصة في الغيز. وثمة أيضاً عدم وجود طلاء والمنشأ البيني الرسوبي هو القاعدة.

والمينيليت ménilites، هي كليات من الأوبال نشأت في المارن أو الغضاريات المغنيزية للثالثي. ويقدم مارن مونمارتر ومينيلمونتان عيّنات جميلة منها. ونلاقي منها في نفس المستوى تقريباً في ثالثي الكاربات الرومانية.

ونعثر، حتى في الأوساط الكبريتاتية على تخثرات سيليسية، فما كان منها في الأوساط الجصية يحمل اسم **صوان نيكتيكي** (خفيف يعوم على الماء) **nectique**. (= أوبال أو مرو نيكتيكي) ونصادفه في التشكيلات البحيرية الملحة للبوربيكي، اللوتيسي، البارتوني والليدياني. تلك هي تشكيلات خفيفة للغاية وباستطاعها العوم على الماء بسبب بنيتها المسامية الناجمة عن اضمحلال بلورات الجص الصغيرة الذوّابة التي ضمتها أثناء تشكلها في بحيرة التبخر الملحة.

والجيزريت geysérite، هو راسب أبيض طفّي مؤلف من سيليس نقي تقريباً تتركه مياه حارة وممعدنة لبعض ينابيع حارة وبخاصة الجيزر؛ أي الينابيع الكبريتية الحارة الفوارة **(geysers)**.

وأخيراً هناك **اليشب jaspes** وهو غضار حقيقي مسيلس، شديد التلوّن، يشكل إما صخوراً رسوبية، أو تشكيلات ثانوية لفوالق هيدروترمالية (**أشباه اليشب جاسبيروئيد**، جاسبيليت). أما **الآغات** (العقيق) **والكالسيدوان**، فهما غالباً منتجات هيدروترمالية (طور نهائي من البركنة)، مؤلفة من سيليس مختر وممنطق على شاكلة عقيْدات، أو يغلّف قواقع من مستحاثات (حلقات orbicules).

IV ـــ صخور كربوناتية

هي الصخور الرسوبية الأكثر انتشاراً والأكثر استعمالاً من قبل الإنسان، سواء أكان في البناء (حجر منحوت وتزيين، رخام) أو في صناعة الكلس الحي والملاط.

وفي الطبيعة، فإن الكلس الذي يؤلف أساس كل هذه الصخور يستمد منشأه من الصخور البلورية والرسوبية الموجودة مسبقاً، حيث ينجر الكلس من قبل مجاري المياه، على شاكلة ثاني كربونات منحل، نحو البحيرات والبحر. ومن المقبول أن مئة جزء من الماء العذب يحتوي وسطياً على ٤٠ إلى ٢٠ من الكلس المنحل وأن هذه المياه تحمل سنوياً إلى البحر ٩٢٥ مليون طن من الكلس تقريباً (مورّاي Murray).

ولما كانت الصخور الكربوناتية متنوعة للغاية، فستكون صعبة التصنيف. وبادئ ذي بدء، فإن صف نماذج حطامية المنشأ فحسب، ونظيرة صخور الأحجار الرملية أو الحثية، لا وجود له هنا بسبب ذوبانية الكلس. وسيكون لدينا نماذج مختلطة، ناجمة عن تصلب أوحال حطامية، فيها كلس إلى حد ما بفعل كربونات الكلس الراسب كيميائياً.

وبالواقع، فإن ترسيب الكلس في المياه العذبة أو المالحة هو ظاهرة مألوفة تتم إما بأعمال كيميائية أو بفعل المتعضيات. وفي هذا الصف الأخير، يجب أخذ الكلس المتشكل عن تراكم أصداف أو قواقع المتعضيات (الكلس المشيد) بعين الاعتبار. وهناك أجسام أخرى ناجمة أيضاً عن ترسيب كيميائي بوسعها التشكل معها (سيليس، دولوميا، حديد، فوسفات ... إلخ). وسنكون مضطرين لأن ندرس على التعاقب الصخور حطامية المنشأ، الصخور كيميائية المنشأ، الصخور عضوية المنشأ، وأخيراً الصخور الكلسية التي يمكن أن نطلق عليها لفظة لا نقية أي ملوثة، والتي يكون فيها كربونات الكلس مجتمعاً مع جسم آخر، أقل ذوابية.

أ ـــ كلس حطامي المنشأ

يشمل جميع الصخور الكلسية الموصوفة بأنها مارنية أو غضارية، وأحجار طباعة كلسية وحوّار، وهي التي تنجم عن تصلب أوحال غضارية ـــ كلسية قارية المنشأ، توضعت بعيداً جداً عن القارات. ويكون تصلُّب هذه الأوحال ناجماً عن ترسيب توضعات ناعمة ذرورية من الكلس، وعن حادثات التصخر Diagenese التي

تعقبها. وتعطينا الأوحال الحالية الأرضية المنشأ، وبخاصة الأوحال الزرق أو المرجانية فكرة جيدة عما كانت عليه في الأصل، هذه الرسوبات.

فالمارن، هو كما رأينا، صخر نمرّ به إلى الغضار. واعتباراً من ٥٠٪ من الكلس، يصبح الغضار مارناً؛ أي صخراً متماسكاً، ذا مكسر كامد بحالة الجفاف، غير أنه يمكن أيضاً أن يصبح لدناً بتأثير الرطوبة [١].

فإذا زادت هذه النسبة يصبح الصخر **كلساً مارنياً** أو **غضارياً**. وبقدر ما تزداد نسبة الكلس بقدر ما يصبح الصخر قاسياً وذا لون فاتح. ويعود اللون المائل للزرقة الذي يظهر على عدد كبير من هذه الصخور لوجود بيريت خفي التبلور، لكن بخاصة وجود مواد هيدروكاربورية. تظهر هذه الصخور الكلسية دائماً، بمظهر سافات مرصوفة جيداً، تفصلها أحياناً سافات مارنية. ومن النادر استعمال هذا الصنف من الصخور الكلسية «حجر الكدّان» كحجر بناء، إذ أنها رخوة بزيادة، غير أنه إذا كانت نسبة الغضار محصورة بين ٢٣ و ٢٨٪، فإن الصخر يصبح عندئذ صالحاً لصناعة الاسمنت الطبيعي. ونصادف أمثال **أحجار الاسمنت** هذه في اللياس، الجوراسي وبخاصة في كريتاسي (بيريازي) في ضواحي غرينوبل ووادي الرون (اسمنت بورت دي فرانس وتيل) [٢].

---

(١) المارن يعمل إذاً فوراناً مع الحموض. وتقاس عملياً كمية كلس تربة أو مارن أو مارن كلسي بجهاز قياس الكلس Calcimètre آخذين بعين الاعتبار المعادلة التالية:

$$Co^3Ca + 2HCl = CaCl^2 + Co^2 + H^2O$$

إذاً ١سم^3 من Co^2 يقابل ٤ر٠ س. غ من الكلس. فيُقرأ، بعد أن يتفاعل مسحوق من الصخر (١غرام) بحمض كلور الماء (بضعة سنتيمترات مكعبة) محدّداً بمقدار حجمه ماءً، عدد السنتيمترات المكعبة من Co^2 التي حُصل عليها ويُضرب بـ ٤ر٠.

(٢) ولنذكّر أنه يصنع بصخر كلسي نقي (أقل من ٥٪ غضار) كلساً حياً دسماً، وبين ٥ و ١٢٪ يحصل على كلس حي هزيل، ومن ١٢ إلى ٢٠٪ على كلس هيدروليكي (عندما يحتوي الكلس على ١٧٪ تقريباً من سيليس مجزأ بنعومة)، ومن ٢٠ إلى ٢٥ على إسمنت بورتلاند وهذا يكون بدرجة حرارة ٦٠٠ — ٨٠٠°. وفيما وراء هذه الحرارة نحصل على منتجات أكثر فأكثر هيدروليكية. ونحصل على الاسمنت الروماني بشي حجر يحتوي على ٢٥٪ غضار بدرجة ١٢٠٠° تقريباً. فالمنتجات الأولية لها سرعة تماسك في جبْلة الاسمنت كبيرة ثم تخف تدريجياً بقدر ما تزداد نسبة الغضار. ونحصل على الاسمنت الاصطناعي بخلط كلس نقي وغضار بنسب محكمة بدقة.

ويكون نسيج هذا الكلس المارني من النموذج البلاجي (بحري): فالعجينة مؤلفة من عناصر فيلليتية ناعمة للغاية وحتى كوارتزية (أكثر ندرة)، متماسكة بملاط من كالسيت حبابي. ونجد فيها متعضيات مجهرية ـــ بيلاجية غزيرة في أغلب الأحيان وتساعد على تمييز الصخر: كلس ذو غلوبيجرين، ذو روزالين أو ذو لاجيناس من الكريتاسي الأعلى (شكل ٩٩، V)، كلس ذو شعاعيات أو كالبيونيل من الجوراسي الأعلى (شكل ٩٩، VI). ويظهر كثير من هذه الصخور بسبب هذا الواقع، بمظهر رسوبات بلانكتوجينية (عوالقيـــة المنشأ) توضعت في النطـــاق العميـــق بين ٢٠٠ و ١٠٠٠م. وتظهر أحياناً في بعض هذه الصخور الكلسية، وبخاصة التي تعود للجوراسي الأعلى في داخل الألب، تداخلات متناوبة رقيقة من الراديولاريت، وهي الصخور التي يقارنها بعض البتروغرافيين برسوبات الأعماق السحيقة.

ونذكر أيضاً من بين بقية الصخور الكلسية الحطامية المنشأ، **أحجار الطباعة الكلسية Calcaires Lithographiques**، التي هي أوحال قديمة كلسية ناعمة للغاية توضعت بقرب أرصفة مرجانية وانسحقت بالأمواج (مثلاً، كلس الجوراسي الأعلى في صولنهوفن في بافاريا، وسيرين، في Ain).

الحوّار الأبيض، راسب أبيض ناعم ورخو، تشغل تكشفاته مساحات واسعة في الحوض الباريسي، مؤلف فقط من بقايا عضوية، إسفنجيات، قنافذ البحر، حزازيـات حيوانيـة Bryozoairies، منضمـة إلى بعض المنخزبـــات Forminiféres (غلوبيجرينيد)، وبعض السوطيات (رابدوليت وكوكوليت)، وبعض فلزات أرضية رضيخية (مرو، روتيل، زركون، تورمالين). وهذا، حسب رأي كايّـو، ليس المعادل لأوحالنا ذات الغلوبيجريـن الحاليـة، بل راسب أرضي توضع على عمـق لا يزيـد عن ٣٠٠م.

ب ـــ صخور كلسية كيميائية المنشأ

وتنجم عن واقع قابلية الكلس للذوبان في المياه الحمضية وبخاصة في المياه التي تحتوي على حمض الكربون:

$$CO^3Ca + CO^2 + H^2O = (CO^3)^2 CaH^2$$

وبذلك يحصل ثاني كربونات الكلس الذواب وتنـظِّـم كمية الحرارة وضغط غاز كربون الطبقة الجوية (قانون شلوزينغ Schloesing)[1]. ويمكن لثاني الكربونات، في بعض الشرائط، بنتيجة تحولات الحرارة والضغط، أن يتفكك ليعطي كربونات حيادية غير ذوابة والتي تتوضع على شكل كالسيت أو آراغونيت. وهكذا تنشأ **الصواعد والنوازل stalactites, stalagmites**، التي تكسو قشراتها الرائعة جدران المغاور في البلاد الكلسية[٢].

الطف هو تغشية غير منتظمة وإسفنجية تحصل عند انبثاق الينابيع الكلسية وتحتوي على عدد كبير من بصمات قوالب نباتات وقواقع. ويعرف السواح جيداً مواقع بعض هذه الينابيع كينبوع سانت ــ اللير مثلاً إلى القرب من كليرمون ــ فيـرّان. والطف شائع في الرابعي وفي العصر الحالي.

وعندما ينساب نبع كلسي في حوض بحيري، فإن الكلس يترسب على شكل مسحوق ناعم بلّوري ويتنضد على هيئة طبقات منتظمة. فالصخر يكون على هذا النحو أكثر تراصاً من الطف ويطلق عليه اسم **ترافرتـان Travertin**. والكـثير من الصخور الكلسية البحيرية هو من الترافرتان. وتكون بنيتها على الأغلب شبيهة بالبريش (بريش كاذب ناجم عن أدوار تجـفُّـف أدَّت إلى تشقق الراسب)، ويحتوي أيضاً على صوانات. وتنتشر هذه التشكيلات كثيراً في الثالثي ويكون ترافرتان سيزان، في الحوض الباريسي، مشهوراً بدقة حفظ بقاياه النباتية والتي مكّـنت من تحقيق طبعات قوالب رائعة (أزهار وثمار).

---

(١) يقال عن المياه الكلسية أنها قاسية dures وتكون عادة غير صالحة للاستهلاك، إذ أنها لا تطبخ الخضار جيداً ولا تعمل رغوة بالصابون. وتقاس عملياً هذه القساوة بالدرجة الهيدروتيمترية (درجة هيدروتيمترية فرنسية تقابل ١٠،٣ ملغـم من Co^3Ca بالليتـر). والميـاه العذبـة درجتها الهيدروتيمتريـة من ٠° إلى ١٤°، والميـاه القاسيـة من ٢٤ إلى ٣٢°، وفوق ذلك تصبح المياه شديدة القساوة ولا تصلح للشرب أو تصلح قليلاً لذلك.

(٢) ب. أوربان P.Urbain. **التأثير الجيوكيميائي للماء على الصخور** (مجلة الجغرافية الفيزيائية والجيولوجيا الديناميكية. تموز ــ تشرين أول ١٩٣٤).

وهنـاك أخيراً، **القشرات الكلسيـة** (*) (**بانشينـو** بالنسبـة للجيولوجـيين الإيطاليين) في المناطق الحارة والجافة (مثلاً: افريقيا الشمالية)، ويتعلق الأمر بتخثرات سطحية ناجمة عن مياه الأراضي الكلسية، وغالباً ماتكون مشققة، وانجذبت نحو السطح بالشعرية والتبخر.

وهناك تشكيلات أخرى من الصخـور الكلسيـة كيميائيـة المنشأ، كثيرة الشيوع في السحنات البحرية، تتمثل بالصخور **الكلسية السرئيـة** (**البيوضيـة**) **calcaires oolithiques** (شكل ٩٩، I). وتتألف بشكل رئيسي من سرئيات، هي تخثرات كلسية صغيرة، لا يتجاوز قطرها ميللمتراً واحداً إلّا نادراً، تحتل مركزها حبة دقيقة من مرو أو متعـضّـية مجهرية. وقد نشأت هذه السرئيات في مياه حارة، مائجة وغنية بالكلس، على مقربة من الأرصفة المرجانية غالباً (انظر ص ٢٩٤). ويحصل توضع الكلس حول جزيئات دقيقة عائمة وعندما تبلغ التخثرات حجماً ما، فإنها تسقط نحو القعر حيث تتسمنت (تلتحم) مباشرة تقريباً بترسيب الكلس. وتكثر الصخور الكلسية السرئية في الحقب الثاني وبخاصة خلال الجوراسي الأوسط والأعلى.

عندما تبلغ السرئيات مقياس حبة البازلّاء أو الحمص، فالصخر يصبح **بازلائي** أو **حـمّصيّـاً** **Pisolithique** (١)، وإذا بلـغت حجمـاً أضخـم فتصبـح **لآلـئ** أو **ملبّسات** ونصادفها في المياه الراكدة الباطنية (لآلـئ الكهوف) وفي بعض ينابيع المياه الحارة (ملبسات كارلسباد). وإن كثيراً من الصخور الكلسية البحرية التي تعود للعصر الثالثي، تحتوي على تخثرات ضخمة حرشفية لفت ج. دي لابّـاران الانتباه إليها. والمقصود هنا تشكيلة ضمنية رسوبية تنجم عن تخثر مركّـب ألوميني عزل أقساماً

(*) وتدعى كاليش في المكسيك و hard Pan في غرب الولايات المتحدة وتَـفَـزَة في تونس وقزازة في شمالي سورية وحجر الخرش في القلمون. وتتشكل غالباً في المناطق التي تتراوح أمطارها بين ١٥٠ و ٥٠٠مم في حوض البحر المتوسط والمناخات المماثلة في كاليفورنيا والشيلي وجنوب غرب أستراليا.

(١) إن الكلس الذي يطلق عليه في الحوض الباريسي خلافاً للأصول لفظة بازلائي، مؤلف من تخثرات زائفة، غير منتظمة إطلاقاً وهي عبارة عن قشرات thallés طحالب كلسية.

من توضّـع هـشّ لـمّـا يتماسك بعد. ومن المحتمل أن يكون لتخثرات البوكسيت واللايتريت منشأ مماثل. ويمكن أن نميز هذه الصخور الكلسية تحت اسم **صخور كلس لؤلؤي**.

جـ ــ صخور كلسية عضوية المنشأ

يمكن لهذه الصخور الكلسية أن تنشأ من فعّـالية المتعضيات البيوكيميائية (بكتريات، طحالب) أو من تراكم عفوي لدروع، قواقع أو هياكل متعضيـات كلسية.

ففي الحالة الأولى نجد عدة أمثلة قد نستمدها من الطبيعة الحالية. وهكذا نجد في البحيرات بعض الطحالب (عائلة الشارا، شيزوفيسيه) تملك خاصة تفكيك بيكربونات الكالسيوم المنحل لتستعمل CO^2 تاركة الكربونـات الحيادية تتـوضع على مقربة من الطحلب أو على مَـشَـرَته.

وقد نشأ كل من الطف البحيري، والكلس ذي الشاراسيه بالطريقة نفسها. وحتى أنه من المحتمل أن تكون فعّـالية الطحالب قد تدخلت في ترسيب كلس عدد كبير من أصناف الترافرتان.

ومن جهة ثانية فإن بمقدور البكتريات أن تلعب دوراً في ترسيب الكلس في المياه البحرية. ولقد بيّـن درو Drew إن البكتريات النازعة للآزوت تُـنتج، إلى القرب من الأرصفة المرجانية، آمونياكاً، يعطي بوجود CO^2، كربونات الأمونيوم الذي يتفاعل مع كبريتات الكلس ليعطي كبريتات الأمونيوم وكربونات الكلس. ويقود تعفّـن المواد العضوية، الذي هو أيضاً من منشأ بكتيري، يقود كذلك إلى تشكّـل كربونات الأمّـونيوم، ثم، وبالتبادل، كربونات الكلس. وأخيراً، فإنه من المحتمل أن يكون بوسع بعض البكتريات تفكيك الأملاح الكلسية مباشرة لتعطي الكلس، وقد رأينا فيما مضى أن تفسخ مواد عضويـة في الماء قد يؤدي إلى إرجـاع الكبريتـات وبخاصة SO^4Ca مع

تشكل كباريت تعطي، بوجود CO^2 المتشكل، CO^2Ca و H^2S وهيدروجين مكبرَت (تفاعل ملاحظ عامة في البحر الأسود)[1].

إن الصخور الكلسية التي تنجم عن هذه التفاعلات البيوكيميائية فقط لها مظهر خاص، شريطي ناعم دوماً ومظهر تخثري أحياناً. وإن تصلب الأوحال الغضارية الكلسية المؤدي إلى الصخور الكلسية المارنية التي درست أعلاه، هو، إلى حدّ كبير منه، ظاهرة من هذا القبيل.

وهناك صف آخر من الصخور الكلسية عضوية المنشأ هي **الصخور الكلسية المشيدة calcaires construits**، وتنجم عن تراكم متعضّيات تستمد الكلس من مياه البحر لتشيد قواقعها أو هياكلها. ونذكر من زمرة هذه الصخور، بادئ ذي بدء، البوليبيات Polypiers مشيدّات أرصفة هامة في بحارنا الحارة والضحلة. لقد حصلت تشكيلات مشابهة في غضون الأدوار الجيولوجية، خلال الحقب الأول وبخاصة في الحقب الثاني، ويمكن الحصول على نماذج جيدة في الحوض الباريسي (مونز، آردين، طابق قديم مرجاني). **ويكون هذا الكلس المرجاني** نقياً للغاية، وذا لون أبيض جميل، نصادفه على شكل متكتلة، سميكة، وأحياناً تكون قليلة الوضوح.

إنها أرصفة قديمة، أو بقايا مسحوقة تقريباً من هذه الأرصفة[1]. إذ أننا نلاحظ، إلى القرب من بقايا المرجانيات، بقايا حيوانات تعيش بالمشاركة في المأكل مع البوليبات «المدخات» Lamellibranches صفيحيات الغلاصم، معديات-الأرجل Gastéropodes، حزازيات حيوانية عضديات الأرجل Brachiopodes، إسفنجيات، طحالب كلسية Bryozoaires ... إلخ.

---

(١) $So^4Ca + 2C = 2Co^2 + CaS$

$CaS + Co^2 + H^2S + CO^3Ca$

ب. أوربان P.Urbain **العلوم الجيولوجية ومفهوم الحالة الفروانية** (محلّيات علمية. باريس ١٩٣٣).

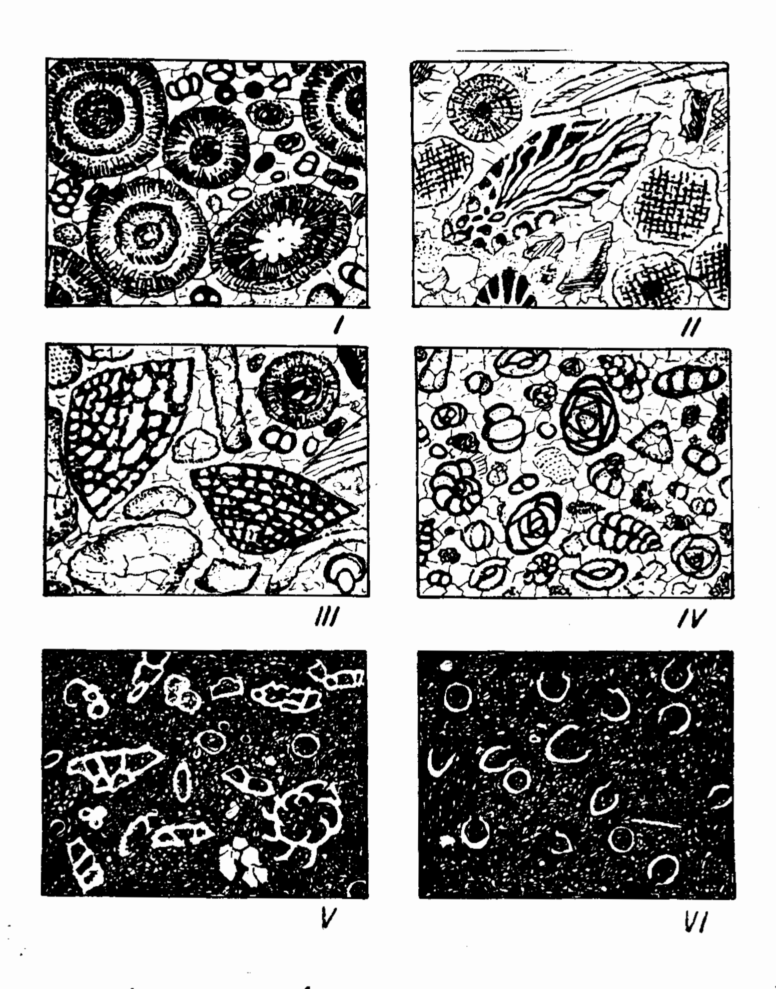
(١) قد يكون هذا السحن غير مقتصر على العمل الميكانيكي فحسب، إذ ان بعض الحيوانات الضخمة مثل خياريات البحر Holothuries التي تتكاثر بسرعة في الأرصفة وفيها شظايا من بوليبات (مدخات) ترجعها إلى أوحال، تلعب دوراً هاماً في تشكيل الأوحال، أصل أحجار الطباعة الكلسية.

ويقدم الكلس الأورغوني للسلاسل تحت الألبية ولوادي الرون مثالاً حياً للكلس المشيَّد: فأنقاض البوليبيات «المدخات» والحزازيات الحيوانية المغلَّفة تشترك فيه مع صفيحيات الغلاصم ذات الأصداف السميكة والمشوهة بالتثبيت (روديست)، ومع منخربات (ميليول) ومع طحالب كلسية (داسيكلاداسيه)، في عجين كلسي حبيْبي أو حبابي. وتكون كل هذه العناصر مستديرة بشكل دقيق ويصبح نسيجها حصباوياً. ويمكن أن تصل نسبة فحمات الكلس فيه إلى ٩٨ أو ٩٩٪ بحيث تؤلِّف هذه الصخور الكلسية مادة ممتازة لصناعة الكلس الحي الدهني.

وهناك صخر كلسي آخر، **كالكلس ذي الأنتروك** (بقايا زنبقيات البحر) entroques (شكل ٩٩، II)، المؤلّف برمته من شظايا أعضاء متمفصلة لشوكيات الجلد (بخاصة زنابق البحر). ولهذا فإن مكسره يبدي عدة وجيهات لـمّاعة ناجمة عن الانفصامات المعينية لهذه الشظايا الكلسية. وتطلق لفظة **«غرانيت صغير»** **«petit granite»** على حجر أوفيل وليروفيل، الذي يعود للجوراسي الأعلى لأعالي الموز Meuse وعلى كلس الآردين أيضاً، الذي يعود للكربوني، وذلك بسبب مظهره البلوري، وتقدم جميعاً النماذج الجيدة عن هذه الصخور.

أما الصخور الكلسية المؤلفة من قواقع صفيحيات الغلاصم (وخاصة المحارات) فتدعى **اللوماشيل** (من **لوماكا**، **Lumàca**، حلزون)، والصخور الكلسية المؤلفة من مختلف أنواع القواقع وهي **الكلس النيريتي** أو **القوقعي** (من **نيريتا**، قوقعة) (شكل ١٠٠، II).

وتتألف بعض الصخور الكلسية بقسم كبير منها من تجمع منخربات ضخمة. وحسب الحالات، تكون لدينا صخور **كلسية ذات مغزليات** وتعود للحقب الأول، **وكلسية ذات أوربيتولينات** وهي من الحقب الثاني (شكل ٩٩، III)، والصخور **الكلسية ذات فلسيات** أو **آلفيولينات** وهي من الثالثي (شكل ١٠٠، I)، أما الميليولات فهي منخربات أصغر بإمكانها أيضاً أن تعطي وحدات تدعى **كلس ذي ميليولات** (أو ذي **ميليوليتات** في إيوسين الحوض الباريسي) (شكل ٩٩، IV)، في **الأورغوني** والثالثي.



شكل ٩٩ ــ **صخور كربوناتية** . I ، كلس بيوضي من الجوراسي الأوسط . II ، كلس ذو أنتروك وحزازيات حيوانية من الكريتاسي الأوسط لما تحت الألب . III ، كلس ذو منخربات (أوربيتولين) من الأورغوني (ضواحي غرينوبل) . IV ، كلس ذو منخربات (عائلة ميليوليده) من الأورغوني تحت الألب . V ، كلس بيلاجي ذو روزالين وغلوبيجرين (كريتاسي أعلى لما تحت الألب) . VI ، كلس بيلاجي ذو كالبيونيل (جوراسي أعلى ما قبل الألب) .

وتدخل الطحالب الكلسية نفسها في تركيب بعض الصخور الكلسية . ونذكر الصخور الكلسية ذات الديبلوبور من الترياس والصخور الكلسية ذات **الليتوتامنيوم** من ثالثي الألب(*) .

(*) ونعثر عليها في الميوسين الكلسي لمنطقة حلب (فيندوبوني) .

د ــ صخور كلسية متنوعة (صخور غير نقية)

هي كل الصخور الكلسية الكثيرة التنوع والتي، بالإضافة إلى كربونات الكلس الذي يسيطر دائماً، والذي يساعد على تحديد الصخر كحجر كلسي، فإنها تحتوي على فلز آخر رضيخي أو مستجد: مرو، دولوميا، غلوكوني، فوسفات الكلس، بيريت.





I   II

شكل ١٠٠ ــ صخور كربوناتية (تابع)
نمّوليتي ألبي. II، لوماشيل (لياس ألبي).

فالصخور الكلسية الكوارتزية quartzeux تحتوي على نسبة كبيرة تقريباً من حبات المرو الرضيخية، وفي الصخور **الكلسية السيليسية**، فإن هذا السيليس ينجم عن ترسيب كيميائي. ويتميز **الكلس الدولوميتي** بكثرة وجود معينات صغيرة من الدولوميا، وهي كربونات مضاعفة من الكالسيوم والمغنيزيوم. وسنرى أن كثيراً من هذه التشكيلات الدولوميتية هي من أصل بحيري مالح، غير أنه ليس لجميع الصخور الكلسية الدولوميتية هذا الأصل أو المنشأ. فمن الشائع، في أيامنا، ملاحظة دلمتة صخور كلسية مرجانية بمياه البحر. كما أن بعض الأرصفة المرجانية المرتفعة من شبه جزيرة سيناء تحتوي حتى على ٤٠٪ من كربونات المغنيزيا وأن جميع القواقع المشتركة بهذه التشكيلات هي أيضاً مغنيزية.

ويجب أن يكون لعدد كبير من الصخور الكلسية الدولوميتية هذا المنشأ، وتدل دراستها بتروغرافياً أيضاً على أن هذه الدلمتة اللاحقة (بلورات الدولوميا تتجاوز

المستحاثات) يجب أن تكون حصلت بسرعة وتمت في أثناء الترسب. وبما أن هذه الصخور تحتوي دائماً على متعضيات (بولييات «مدخات»، شوكيات جلد، طحالب كلسية) تكون أغلفتها على العموم مغنيزية، فقد أراد البعض أن يرى فيها منبع المغنيزيا. غير أن هذه المتعضيات لا تتهدم بنوع خاص أكثر من غيرها وتملك، على العكس، خاصة الاغتناء بالمغنيزيا، ولهذا يفكرون حالياً أيضاً أن أملاح المغنيزيا التي تحتوي عليها البحار هي المسؤولة عن استبدال Mg بـ Ca وذلك ضمن شرائط حددت تجريبياً من قبل ريفيير Rivière. واستناداً إلى رأي هذا الجيولوجي يحصل تثبيت CO^3Mg على CO^3Ca في جميع حالات تماس مياه البحر (١م٣ من ماء البحر يحتوي وسطياً على ٦ر١كغ من المغنيزيوم. والحجم الكلي للمحيطات والحالة هذه هو ٣٠٠٠٠٠ر١كم٣) مع الكلس ويكون التفاعل سريعاً بقدر ما يكون التركيز أكبر. وتلعب كمية CO^2، إذاً التهوية، أيضاً دوراً إضافياً لدور المتعضيات. ونذكر من بين الصخور الكلسية الدولوميتية، التي هي من ذات المنشأ، صخور عصر الكربوني الكلسية في الحوض الفرنسي ــ البلجيكي، والصخور الكلسية ذات ديپلوبور، التي تعود لترياس جبال الألب (بريانسونيّه، دولوميت في التيرول). ولنلاحظ أن الصخور الكلسية الرصيفية للجوراسي الأعلى لما تحت الألب (كلس الإيشايّون، إلى القرب من غرينوبل) والكلس الأورغوني، من نفس المنشأ، يبديان هنا وهناك في كتلهما آثاراً دولوميتية، وهذا تجمّع نجده غالباً في الأرصفة الحالية.

والكلس الغلوكوني هو أكثر ندرة ونصادفه في بعض تشكيلات كريتاسية لسلاسل ما تحت الألب.

وأخيراً فإن عدداً كبيراً من الصخور الكلسية غير النقية تحتوي على بيريت الحديد بحالة مجزأة كثيراً وتملك بنتيجة هذا الواقع لوناً أزرق، وفي السطح وعلى طول الشقوق، يتفاعل الهواء الرطب والماء مع البيريت، مما يؤدي إلى تشكل هيدروكسيد الحديد الأحمر، ومنه جاء طلاء هذه الصخور الكلسية بالأحمر، وهي التي ننعتها أيضاً بالصخور الكلسية **ثنائية اللون**.

وتحتوي الصخور **الكلسية الفوسفاتية** على فوسفات الكلس على شكل حبات

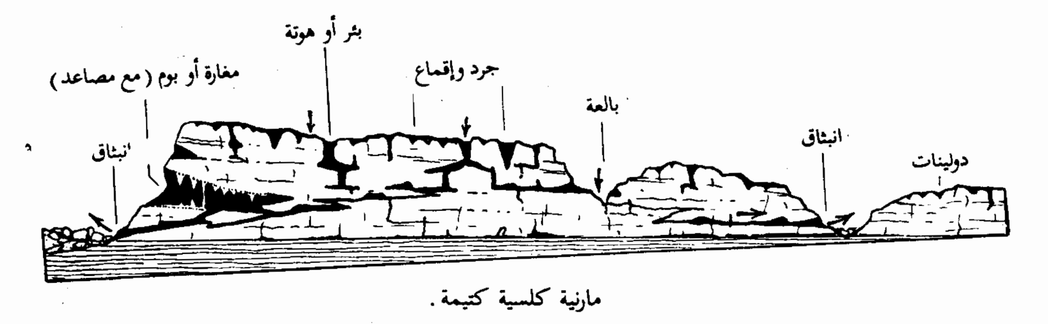
أو عقد تكون أحياناً حرشفية، وعلى شكل بقايا عظمية. وسنتكلم ثانية عنها فيما بعد.

هـ ـــ فساد الصخور الكلسية

يمكن لجميع الصخور الكلسية أن تفسد بتأثير المياه الجوية التي أضحت عدوانية لوجود حمض الكربون (وأحياناً حموض عضوية)[1].

يظهر هذا الفساد، على السطح، بشكل طلاء؛ كالطلاء الحواري للصخورالكلسية النقية، وطلاء أشقر للصخور الكلسية البيريتية، وأبيض للكلس المارني. غير أن هذا الفساد يمكن أن يكون أكثر عمقاً، إذ أن المياه المزودة بحمض الكربون تحل، كما رأينا، الكلس لحالة بيكربونات، فيمكن لِـ ١٠٠٠٠ جزء من مياه حمضية أن تحل ١٠ إلى ١٢ جزءاً من الكلس، وأن صخر الكلس النقي هو الأكثر تأثراً.

ومن جهة أخرى فإن هذه المؤثرات لا تمارس دورها على نطاق كبير إلّا على الصخور الكلسية المتشققة التي تسهِّل اختراق الماء[1]. فعندها يحدث الحت الكارستي بجميع أنماطه، (شكل ١٠١). تحفير سطحي في الصخور الكلسية يؤدي



(١) إننا نعلم أن حموضة المياه تقاس عملياً بتركيز إيونات الهيدروجين. وهذا هو الـ PH فإذا كانت PH = ٧ يكون السائل حيادياً، وإذا كانت PH< ٧ فتدل على سائل قلوي، و PH> ٧، فمياه حمضية أو حامضة.

(١) إنها إذاً على الخصوص الصخور الكلسية للمناطق الالتوائية التي تعرض لنا هذا الفساد. وفي المناطق الهادئة المنبسطة، فإن الكلس، وإن كان ذواباً إلّا أنه يتقبل تماماً جرياناً سطحياً.

لتشكل **لابياز Lapiaz** أو «**كارست**» كتَشَكُّل آبار (آفين(*)، شولان، سياله، أو كان حسب المناطق)، وتشكل انهيارات (دولينات(**) وبولييه(***)، وأنفاق ومغاور... إلخ. وكلها تقابل جرياناً عميقاً للمياه. فالكلس يصبح نفوذياً على نطاق واسع، ولا يبقى هناك جريان سطحي في تلك المناطق، إذ أن جميع الماء يغور ليغذّي جرياناً داخلياً، يكون في بعض الأحيان بغاية التعقيد، وقد يكون ذا جريان حر أو جريان مضغوط، في النطاقات الأكثر عمقاً في الكلس، دون أن توجد طبقات حقيقية حاملة للماء. وتكون المياه بصورة عامة مثبتة في أسفل مسيرتها بمستو كتيم يسهِّل لها الخروج، ويطلقون على هذه الينابيع في البلاد الكلسية والمتميزة بعدم انتظام كبير في صبيبها، لفظة «**انبعاثية**» **Exsurgence** أو ينابيع فوكلوزية، أو إذا كانت تتغذى من غور مياه نهر ما، فتدعى **انبثاقية Résurgence**.

ومن بين الهوتات الأكثر شهرة نذكر l'Aven Armand في الكوس ميجان، وعمقه ٢٠٧م، ثم بئر باديراك في اللوت Lot، وله ٥٤م، وثقب تريبيك في الكارنيول Carniole، ٣٢م. الشورن مارنان في الديفولوي ٣١٠م، غير أن الهوّة الأكثر عمقاً وشهرة والمستثمرة هي في الإيزير Dent de Cralles (٦٥٨م و ١٧ كم من الأروقة)(١).

أما ما يتعلق بالانبثاقات الأكثر شهرة، فهي نبع فوكلوز (صبيب أدنى مستوى يصل إليه النبع: ٦٠٠٠ل/ثا، مع فيضانات تصل إلى ١٣٢٠٠٠ل/ثا)(****)، نبع الايفيك (٤٣٣٠ل/ثا)؛ نبع آربوا، في الفركور (١٧٢٥ل/ثا)، نبع اللو إلى

(*) أو هوتة في سورية ودحل في نجد.

(**) جوبة في جبال الساحل السوري.

(***) أو دارة.

(١) ومع هذا فإن الرقم القياسي الحالي (٩٠٣م) يقع في الفركور على هضبة صورنان، وهو الذي يؤدي في النهاية إلى خزانات ساسناج إلى القرب من غرينوبل، كما أثبتت ذلك تجربة بالفلوريسيين.

(****) لعل نبع راس العين الذي يشكل نهر الخابور ويقذف وسطياً ٣٤٠٠٠ل/ثا هو أشهر هذه الانبثاقات وكذلك نبع الهرمل في لبنان، والفيجة ويقذف وسطياً ٥٠٠٠ل/ثا.

من موتيه — هوتبيير، في الجورا وهو متميِّز بهذا الواقع وهو أن مضاعات الدوبس Doubs، في سافلة بونتارلييه، تخرج ثانية في واد آخر.

وثمة نتيجة أخرى لهذا الجريان الخاص جداً للمياه في بلاد كلسية وهو أن مقارنة الأنهار في البلاد الكلسية بالاستناد إلى حوضها الطبوغرافي فحسب يصبح عملاً وهمياً، فيجب هنا أخذ الحوض الجيولوجي بعين الاعتبار. وهكذا نجد في الفركور، سيلي البورن وفيرنيزون اللذين يؤديان إلى بونتان روايان، لهما حوضان سفحيّان متساويان مساحة تقريباً (٢٨٥ كم٢ للبورن و ٢٨٩ لفرنيزون)، ومع هذا فإن صبيبهما مثل ١٠ (بورن) إلى ١، وذلك حسب آ. بورجان (شكل ١٠٢).

مسار المياه الباطنية
الانبثاقات الرئيسة في الوادي

شكل ١٠٢ — عمليات أسر مياه باطنية في بلاد كلسية (فركور، إيزير).

وينجم هذا الأمر عن الجريان الباطني الذي يحصل، في الكلس الأورغوني، ومن فيرنيزون نحو البورن، ويتكشف السيل الأخير، بالواقع، على طول ضفته اليسرى، عن انبثاقات متعددة (بورنيون، نبع آربوا) والتي يمكن اعتبارها بمثابة مضاعات حوض فيرنيزون اختلسها البورن باطنياً [1].

(١) قد يكون إذا، من المفيد التحقق من المسير الباطني للمياه في البلاد الكلسية وذلك بقصد دراسة مسلك مضاعات الأنهار أو نظام بعض الينابيع. وتتم هذه الدراسة بواسطة ملونات كالفلوريسيين (١كغ من الفلوريسيين بالمتر المكعب من الصبيب المراد تلوينه وبالكيلومتر من المسير الباطني المحتمل، حسب مارتيل) ←

وأخيراً فإن **تأكلس décalcification** الصخور الكلسية هذا يترافق، كما رأينا، مع تشكل رواسب غير قابلة الانحلال هي **التربة الحمراء Terra rossa** أو غضار المغاور الحالية، رمال وغضاريات نارية في روايان (الدوفينيه) التي تملئ لابياز قديم أورغوني إيوسيني، وغضاريات ذوات صوان في الحوض الباريسي... إلخ.

وتنتج عن تأكلس الصخور الكلسية السيليسية الأوليغوسينية صخور كثيرة التجاويف تدعى بـ **أحجار الرحى Meulières**، ويؤدي تأكلس بعض الصخور الكلسية الدولوميتية أيضاً إلى صخور بحيرية مسامية سنتحدث عنها فيما بعد تحت إسم كارنيول. وقد يحرر تأكلس صخر كلسي دولوميتي مجسمات معينية من الدولوميا، فنحصل عندها على رمل دولوميتي، وهذه هي ظاهرة **التفتت الحبيبي للدولوميا égrènement** الشائع في جزر المحيط الهادي المرجانية والذي نجده ثانية لدى بعض الصخور الكلسية المرجانية... وتنتج ثَفالة تفاعل الصخور الكلسية الفوسفاتية بالطبع تركيزاً ميكانيكياً أو كيميائياً لفوسفات الكلس، وهو مصدر بعض مكامن معروفة تحت اسم فوسفوريت.

V ـــ صخور ذات منشأ لاغوني (بحيري مالح)

هي صخور الدولوميا، والصخور الكبريتاتية (جبس وآنهيدريت) والصخور الملحية (ملح الطعام، أملاح البوتاس... إلخ)، وهي شائعة إلى حدّ كبير في بعض مستويات الزمرة الجيولوجية، التي أمكن متابعة نشوئها عن طريق الترسيب الكيميائي في اللاغونات الحالية، حيث يحصل فيها تبخر وتركيز لمياه البحر. وإننا نعلم، مثلاً، أن صخوراً كلسية مغنيزية قد تتشكل مباشرة في البحيرة المركزية للجزر المرجانية أو الجزر المرجانية الحَلْقية، وأن ترسيب الأملاح، التي تحتوي عليها مياه البحر، من جهة

أشهر التجارب في هذا المضمار هي التجربة التي جُربت عام ١٩٣١ من قبل ب. كاستيريه، على مجرى باطني للغارون بين مضاعة في أل ترو دي تورو وانبثاقه في غويل دو غيئو Goueil de jouéou، في فال داران، والتي كللت بنجاح باهر.

ثانية، يحصل في السباخ (الشطوط) حسب الترتيب التالي: كبريتات الكلس (جبس أو آنهيدريت، حسب الحرارة)، ملح بحري (NaCl)، وأخيراً الأملاح المسماة بِـ مَـيوعة أو مُـنْماعـة لها خاصة تشرب الرطوبـــة من الهواء déliquescents (كبريتـــات، ثم كلورورات المغنيزيا والبوتاس) عندما تبلغ نقطة الإشباع. هذا وبما أن الملح البحري هو الأكثر غزارة (ما يقرب من ٢٩٪ لِـ ٩٨٩٫٧ من ماء البحر)، فإنه يتوضع باستمرار. أما بورات الكلس والصودا، فتبقى منحلة في المياه المتبقية (ماء الأم) طالما بقيت هذه المياه تحتوي على أملاح مُـنْـماعة.

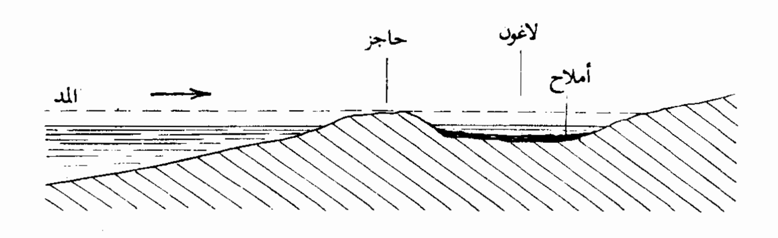
من المؤكد أن التوضعات الملحية القديمة قد نشأت في ظروف مماثلة، وإن كنا بالمعنى الدقيق، لا نعلم بوجود بحيرات لاغونية في الطبيعة الحالية، تحصل فيها مثل هذه الترسيبات على نطاق واسع (انظر ص ٢٤٢). وبما أن بعضاً من هذه التوضعات يبلغ سماكة هائلة أحياناً، ويتطلب مجلوبات من مياه ملحة مستمرة، فإن تدخل النظرية يصبح واجباً. وهناك فرضيتان موضوعتان في زماننا لتفسير منشأ الصخور اللاغونية ففي نظرية **الحاجز** (شكل ١٠٣)، يفترض أن هناك بحيرات لاغونية واسعة، تفصلها عن عرض البحر عتبة أو يفصلها حاجز، وجدت بمحاذاة قارات قديمة في فترات زمنية قصيرة من تاريخها، وقد أدّى التبخر في هذه البحيرات إلى تركيز وترسيب متواصل للأملاح، ومن هنا جاءت كلمة **تبخريّـات** **évaporites** التي تطلق أحياناً على هذه الصخور، بينما كانت مياه البحر تتجدد فيها باستمرار، منساقة بالمد أو بالمد والجزر من فوق الحاجز. والنظرية الثانية هي نظرية **الشطوط** **Chotts**[1]. ويراد بالشطوط أو السبخات المنخفضات المغلقة والمغـشّـاة بقشرة من أملاح مختلفة، التي تظهر في صحاري جنوب الجزائر وتنتهي إليها مياه السيلان التي غسلت الأراضي المجاورة الحاوية على الملح من تكوينات البرمو ـــ ترياس. وقد أمكن بهذا من اقتراح تماثل جميع التوضعات الجبسية والملحية للزمر القديمة بتشكلات تبخرية صحراوية.

ولنلاحظ أنه، في الحالتين، قد أمكن حصول توضعات لأوحال حطامية في

---

(١) مستنقعات مالحة.

البحيرة اللاغونية أو في الشط انساقت إليها من قبل البحر أو من قبل مياه السيلان. وكان يحصل تصفيق أو إبانة العكر قبل ترسيب الأملاح، كما يحصل في مراحل بحيرات التمليح الحالية. وهكذا يفسر الغضار والمارن اللذان كثيراً ما يرافقان المعقّدات اللاغونية [1].



شكل ١٠٣ ــ تشكل توضّعات ملحية في بحيرة لاغونية (نظرية الحاجز).

ويمكن أن يفسّر ترسيب الرسوبات الدولوميتية، الموجودة أيضاً في الزمر البحيرية اللاغونية، من ناحيته، في وسط غير متأكسج (أي فقير بالأوكسجين) وغني بالمواد العضوية، بفعل بكتريات لا هوائية حسب التفاعلات:

$$SO^4Ca + SO^4Mg + 2CH^4 = CaS + MgS + 4H^2O + 2CO^2$$

$$CaS + MgS + 4H^2O + 2CO^2 = (CO^3)^2CAMg + 2H^2S$$

الصخور الكلسية الدولوميتية أو، باختصار، **الدولوميا** **Les dolomies**، هي صخور كلسية دولوميتية متميِّزة بأعداد كبيرة من مجسمات معينية صغيرة من الدولوميا (CO^3Ca, CO^3Mg) غارقة في عجين كلسي مغنيزي (شكل ١٠٤، II). تلك هي صخور رمادية اللون أو صفراوية، ذات ملمس خشن، ومكسر سكّري ولا تعمل على العموم فوراناً بالحموض.

---

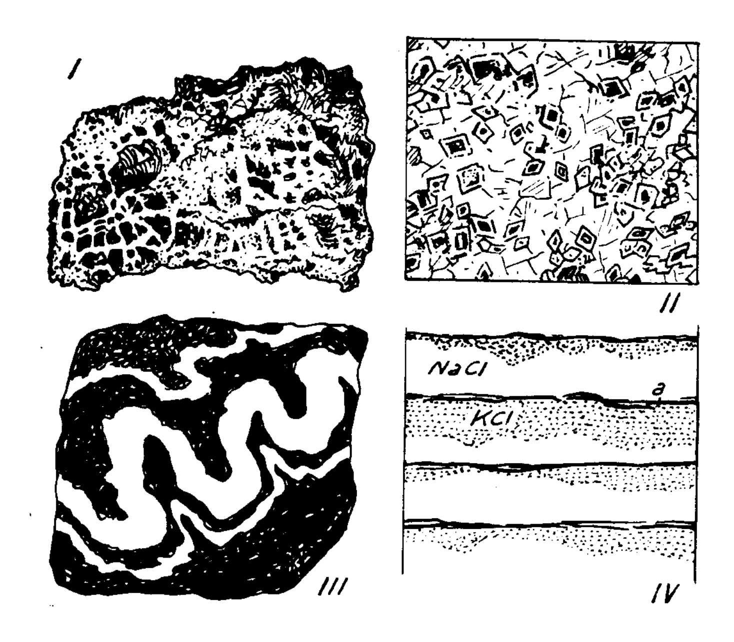
(١) تكاد تكون كل هذه التشكيلات، دائماً، حمراء أو خضراء ومن المعلوم أن هذه الألوان ناتجة عن أملاح حديدية (أخضر) أو أملاح حديد (أحمر). غير أن اللون الأحمر القاني فهو لون أملاح أو أكاسيد منزوعة الماء «مجتفّة». وقد ألحَّ سبرينغ على الدور المجفف للجبس والملح البحري. ومن ناحية أخرى فإن وجود مواد عضوية بيتومينية في هذه اللاغونات (مما يفسر أيضاً تشكل البترول)، وهي مواد مرجعة بالأساس، وهي المسؤولة عن الأملاح الحديدية ذات اللون الأخضر.

ومن بين هذه الدولوميا الأولية، التي هي رسوبات بحيرية لاغونية حقيقية، نذكر دولوميا البرمي والترياسي والبريكي.

إذا انحل كلس دولوميتي جزئياً وأبدى من جراء هذا الانحلال بنية جويفيّة ومحوجزة (مقطّعة بحواجز) مما جعله شبيهاً بطف، فإن هذا الكلس الدولوميتي يصبح صخر **كارنيول Cargneule** (شكل ١٠٤، I). ولقد استقرت، لفترة طويلة من الزمن، فكرة كون الكارنيولات عبارة عن كلس دولوميتي متأكلس، طالما أن اللحمة الدولوميتية، وهي الأقل انحلالاً من كربونات الكلس، هي وحدها التي بقيت مرئية. والحقيقة هي، إن كثيراً من الرسوبات كارنيولية المظهر يمكن أن يكون لها هذا المنشأ، فالمياه التي تسري في كتل الكارنيولات تكون دائماً شديدة الفعالية في إحداث الطف الكلسي ومع هذا فقد طرحت الفرضية التي تقول: بأن كارنيولات الترياس، التي هي دائماً مرتبطة بالجبس، مدينة ببنيتها الكهفية إلى انحلال بلورات الجبس التي كانت الدولوميا بالأصل مشتركة معها (ف. بروكنر W. Bruckner).

وتكون الصخور الكبريتاتية هي المنتجات الأكثر شيوعاً للتبخر اللاغوني، على شكل **آنهيدريت** (SO^4Ca) أو **جبس** ($SO^4Ca, 2H^2O$). وفي اللاغونات الحالية فإن أحد هذين الجسمين يتوضع حسب شرائط الحرارة والملوحة. فعندما تكون المياه محمّلة جداً بـ Nacl فإن الآنهيدريت هو الذي يتشكل منذ أن تزيد الحرارة عن ٢٥ سنتيغراد. ومع الماء العذب، فإن الجبس هو الذي يتوضع حتى درجة حرارة أعظمية قدرها ٦٠°.

والآنهيدريت هو صخر أبيض، قاس، مبلور وله مظهر مرمري، وبعض الأنواع الشفافة منه تدعى الهيصم «الباتر». وينتفخ الآنهيدريت، بتأثير الماء، ويتحول إلى جبس مع مضاعفة حجمه تقريباً، وبسبب ذلك كان مظهر مكامن الصخور الكبريتاتية في أغلب الأحيان ملتوياً جداً (شكل ١٠٤، III). وفي ترياس مناطق الألب الخارجية، فإن الآنهيدريت يكون فيها أولياً، إذ أنه يظهر فيها مغلّفاً داخل قشرة من جبس ثانوي. وفي مناجم ملح بيكس Bex، في جبال الألب الفودوازية، توجد عدة كيلومترات من الأروقة في الآنهيدريت، تحت منطقة الجبس.



شكل ١٠٤ ــ **صخور لاغونية**. I، كارنيول ترياسية (تكبير طبيعي). II، صفيحة رقيقة في كلس دولوميتي، تظهر مجسمات معينية صغيرة جداً من دولوميا داخل ملاط كلسي ــ مغنيزي (تكبير: ٣٠). III، التفاف طبقة رقيقة من الآنهيدريت المحوّل إلى جبس (كبر طبيعي). IV، طبقات رقيقة ملحية من بوتاس الألزاس: بالأبيض، ملح صخري (كلور الصوديوم)، بالمنقّط أقسام حمراء غنية بكلورور البوتاسيوم، هذه السافات منفصلة عن بعضها بتناوبات غضارية رقيقة. (a)(*).

أما الجبس كصخر، فهو مادة بيضاء رخوة ذات مظهر طحيني، قد تشكل كومات جسيمة في الأراضي اللاغونية، وبخاصة في البرمي والترياسي، الجوراسي الأعلى (بوربكي)، والثالثي (جبس حوض باريس الإيوسيني حيث يشكل أربع كتل تبلغ سماكتها الإجمالية ٢٥م، وجبس فوكلوز الإيوسيني والأوليغوسيني).

والجبس قابل للذوبان بالماء (أكثر قليلاً من ٢غ بالليتر) ويعطي المياه المرة أو

(*) سافِ ويعني طبقة رقيقة جداً وتقابل Lit بالفرنسية.

الجصية التي تتفاعل مع الإسمنت العادي وتتلفه[1] . وإن قابلية الجص للذوبان هذه تظهر ، في البلاد التي نصادف فيها أمثال هذه الصخور ، على شكل أقماع انهيارية لها طابع خاص تدعى أول oule (شكل ١٠٥) في جبال الألب الفرنسية .

وعندما تخفّض مياه لاغون بالتبخر إلى عشر حجمها الأولي ، وتصل كثافتها إلى ١٫٢٠ ، فإنه يتوضع ملح بحري . إن في هذا منشأ توضعات **الملح الصخري** الذي نصادفه في بعض الصخور ، وبخاصة في الترياس الأعلى . صحيح أنه جرى ذكر نظرية الشط لتفسير بعض من هذه المكامن، غير أنه ، في هذه الحالة ، فإن طبيعة التوضعات ليست مماثلة تماماً لطبيعة توضعات اللاغونات ، وبخاصة كربونات الصوديوم ، البورات والنترات التي لا يمكنها أن تنشأ إلّا في حالة الشطوط .

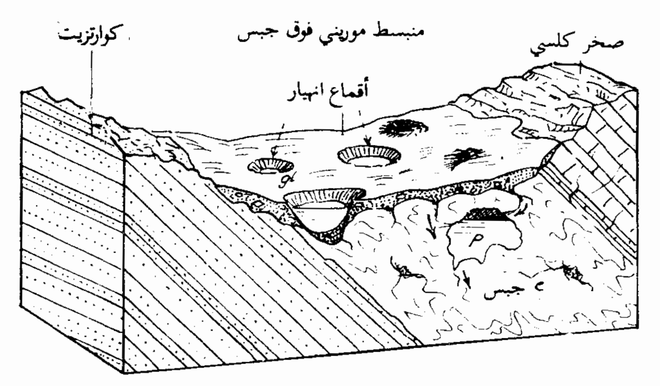
إن تركيزاً أكبر للمياه يؤدي إلى ترسيب أملاح البوتاس ، وهذه شرائط نادراً ما تتحقق في الطبيعة حيث تكون هذه المكامن أقل انتشاراً من مكامن الجبس والملح الصخري .

ولنذكر مع هذا مكمن ستاسفورت في ألمانيا (برمي) المؤلف من كيزريت ، بوليهاليت وكارنالّيت ، ومكامن قطالونيا والألزاس (أوليغوسين) التي هي على أساس السيلفين . وتوجد في الألزاس ، طبقتان من البوتاس في أسفل الأوليغوسين ، ويبلغ قياس أكثرها سماكة ٤ إلى ٥م . فالطبقة العليا وسماكتها ١٫٢٠م تقع على بعد ٢٠م من الطبقة السفلى التي تفصلها عنها سافات صغيرة من المارن ذي الملح الصخري والآنهيدريت . أما قسمها الأعلى فيبدو أنه مؤلف محلياً من كارنالّيت مع ملح طعام وآنهيدريت (شكل ١٠٤ ، IV) . ومن المعتقد بأن هذا المكمن حصل من تبخر مياه

---

(١) فيجب عندها استعمال إسمنت خاص إيلكترو ــ فونضي Electro-fondus غير القابل للفساد وتكون قساوة ماء يحتوي على كبريتات الكلس هي القساوة الدائمة (القساوة الموقتة هي التي تنجم عن الكلس) . ومن المعروف كون أن هذه الصخور الكبريتاتية ليست أراض مستحبة المصادفة أثناء الأشغال الهندسية . ففي خلال الأشغال الحديثة للخط من نيس إلى كوني ، اقتضى الأمر اختراق ١٥٠م من الجبس ، ثم ١٠٠٠م من الانهيدريت على استقامة ممر برو Brau الضيق . وفي مكان آخر ؛ أي في النفق بين gigne وكارانكا ظهر الانهيدريت أثناء عمليات الحفر . ولاجتياز هذا التكوين الصخري لزم تعزيل الصخر كله وطليه بالكوالتار ، ثم كسوة الجدران بالبناء ومن ثم حقن القطران بالضغط من خلفها .

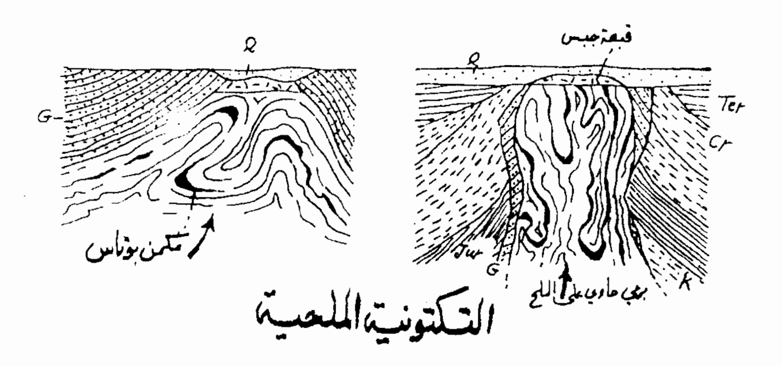
شط أوليغوسيني كان يمتلئ دورياً بمياه غسلت مكامن قديمة ملحية برمو ـــ ترياسية. ولما كانت أملاح البوتاس هذه ليست مَيوعة أو مُنْماعة بسبب عدم احتوائها على مغنيزيا، فقد كان بالإمكان نقلها بسهولة. ويكون السيلفين، إضافة إلى ما تقدم، ملوناً فيها غالباً بالأحمر بتأثير حديد أوليجيست، بينما يكون لون النطاقات الأغنى بالملح الصخري أبيض رمادي.



شكل ١٠٥ ـــ **جريان المياه في الصخور الجبسية (جبس الترياس الألبي هنا)**. جيوب مائية جبسية (p) تتشكل في الأعماق وانهيار سقف هذه الجيوب يفسح مجالاً لإقماع مرئية على السطح تدعى خفوس أو دحول (مفردها دحل)، عندما ينسد قعر هذه الإقماع بصخور غضارية (مورينات جليدية مثلاً)، تتولد عندها مستنقعات صغيرة.

شرائط تكمُّن الصخور الملحية: لما كانت الصخور الملحية (جبس وآنهيدريت، ملح صخري وأملاح البوتاس)، هي صخور ترسيب كيميائي، فإنها تظهر على شكل سافات lits منتظمة للغاية، تكون غالباً متطبقة بنعومة متناهية فُسِّرت كما لو أنها تناوبات سنوية. وبالحقيقة، نشاهد في الطبيعة الحالية حدوث تناوبات شبيهة بتلك في توضعات لاغون قره ـــ بوغاز: ميرابيليت ($SO^4Na^2, 10H^2O$) في الشتاء، تينارديت (كبريتات لا مائية) في الصيف. ونجد هذه التناوبات، واضحة للغاية، في مكمن بوتاس الألزاس، بخاصة حيث تتناوب الطبقات الغنية بالسيلفين مع الطبقات الغنية بالملح الصخري مع فواصل تتراوح سماكتها من ١ إلى ٢ د.سم. والفرضية القائلة بأن هذه الطبقات تقابل تناوبات سنوية، وإن كانت موضع انتقاد، ليس فيها شيء مستبعد، بالرغم من أن الترسيب الحطامي عودنا على تواترات أكثر

بطيئاً. لكن يجب ألّا ننسى، أن الترسيب هنا منظم بعمل تبخر المياه المتبقية (ماء أُمّ) وقد تمكن أحد الباحثين من إثبات (جـ. ديشا) كون توضع طبقة سماكتها ٢د.سم يفترض تبخر شريحة ماء لها نفس السطح وسماكتها بحدود المتر، مما لا يوحي بشيء غير متوقع. فينجم عند ذلك أن المكامن الملحية لا تمثل سوى فصول عابرة في المدة الواسعة من الأزمان الجيولوجية.



شكل ١٠٦ ــ **تكتونية ملحية**. مكامن ملحية في شمال ألمانيا. I، قبة. II، طية ثاقبة مندفقة (G، حجر رملي مرقش، K، كوبر. Cr، كريتاسي. Ter ثالثي. Q، رابعي).

لم نأت حتى الآن إلّا على ذكر المكامن الملحية السليمة. والحال أن الأمور لا تسير دائماً على هذا النحو وأن تحولات عميقة تصيب أحياناً هذه المكامن. ونبدأ القول بأن مكمناً غير محمي بسقف كتيم قد يكون عرضة للفساد من قبل المياه التسربية (انحلال الملح الصخري والجبس، تحول الآنهيـدريت إلى جبس... إلخ) (شكل ١٠٤، III). وتفسّـر لنا سهولة الفساد هذا، سبب ندرة مكامـن الملـح المتكشّـفة واغتنائها على العكس في العمق. ومع هذا فإننا نعلم بوجود مكامن ملحية لها شرائط تكـمُّـن فريدة. إنها تشكل أكداساً جسيمة سطحية، مما يشكل تناقضاً ظاهرياً لصخور ذوابة بشكل رئيسي كهذه (جبال ملح افريقيا الشمالية) أو قبباً حقيقية متحـدِّرة عن أعمدة ملحية عميقة رفعت الأراضي السطحية (قبب ملح التكساس، هانوفر، الألزاس) (شكل ١٠٦). وإن شرائط كهذه لا يمكن أن تفسر إلّا إذا افترضنا أن الملح يصعد من هذه المكامن العميقة نحو السطح.

ولا يتم صعود هذه الأعمدة الجسيمة دون حصول تشويهات بالصخور المجاورة التي تترقّق وتنتزع كما يفعل المجواب[1] على محيط القبة، وتنتشر الصخور الملحية على السطح على شكل بقع غير منتظمة تقريباً أمكن مقارنتها مع قشور القوباء (أكزيما).

وبالطبع فإن حركات الأرض، هي التي تسهّل صعود الملح، ويجنح الملح في المناطق الالتوائية، للتجمع على طول مفاصل المحدبات. تكون هذه المفاصل مثقوبة، على الأغلب، كما لو خرقت بالمجواب بهذه النوى الملحية (طيات ثاقبة في الكاربات الرومانية).

وعليه ندرك سبب مواكبة الخطوط البنيوية الكبرى غالباً (خطوط تماس شاذة، مستويات تراكب أغشية الجرف) بركامات من صخور ملحية (نطاقات الجبس في جبال الألب).

تسير الأمور كلها، إذاً، كما لو كانت الصخور الملحية لدنة وتسعى (بسبب كونها أقل كثافة نسبياً من الصخور المحيطة بها) إلى احتلال مكانها مجدداً في القشرة. لقد أعطت تجارب حديثة نتائج مفادها أن الملح الصخري إذا ماسخّن لدرجة ١٢٠° تحت ضغط ٣٠٠كغ في مكبس لصنع الغزل، فإنه يتحول إلى مادة لدنة تعطي خيوطاً ببطء. ولقد أمكن هكذا من تفسير صعود جبال ملح الجزائر ومرّاكش، بفعل الحرارة الباطنية والثقل البسيط للرسوبات المنضدّة (دوبون، بونيشون وداغان).

VI ــ صخور المحروقات

سندرس تحت هذا العنوان الفحوم الحجرية والبترول اللذين يمثلان نماذج صخور عضوية المنشأ، لها أهمية خاصة ونافعة.

---

(١) المجواب آلة الخرق.

أ ــ الفحوم الحجرية

الفحوم الحجرية هي صخور محروقات مؤلفة حصراً من بقايا نباتية. وأكثرها شهرة هي الهوي Houilles أي الفحم الحجري أو coal التي نشأت في شرائط خاصة، في وسط لاغونات واسعة غابيّـة، شبه بحرية أو قارية.

الخـثّ أو الطورب Tourbes: ويمثل المحروقات الأقل تحـوّلاً ويتشكل حالياً تحت وقع بصرنا. وأقدم يعود للرابعي(*).

انه عبارة عن خلائط من ألياف نباتية (**سفاغنم**، **هيبنم**، من بين الحزازيات Mousses، **كاريكس** وغيرهـا من الفصيلـة النجيليـة Graminées)، ومـن الدبـال Humus، ومن مواد فلزية وماء، وتبلغ نسبة الكربون فيه ٥٥٪.

ويدخل التورب المجـفَّـف في عداد المحروقات الرديئة التي تترك فـضْـلة هامة من الرماد (٥ إلى ١٠٪).

الليغنيت: هو فحم حجري يحتوي وسطياً على ٩٥ و ٧٩٪ من الكربون وله، غالباً مظهر خشب مستحاث(*). يتميز إذاً عن التورب بغزارة بقايا ليفية، مغـلّـفة في كتلة دبالية كان لها، في برهة ما، قوام الهلام المجمد. وهنا أيضاً يعطي الليغنيت بعد الاشتعال رماداً (٥ إلى١٥٪) مؤلفاً من مواد فلزية ونجد الليغنيت بخاصة في الثالثي والثانيـي.

الفحم الحجري ــ الهوي: يمثل أكثر الفحوم الحجرية طلباً بسبب صفاته المميزة. إنه فحم حجري لماع أو كامد، متشقق تقريباً ونصادفه في العصر الكربوني. ويحتوي وسطياً على ٨٤٫٢٤٪ من الكربون ومن ٤ إلى ٧٪ من الرماد. ويعطي بالتقطير نسبة متحولة من الهيدروكاربورات بخاصة غازية (مثلاً: غاز الاستصباح).

(*) أو الرباعي، والثالثي أو الحقب الثالث والثانيي أو الحقب الثاني.

(*) أو حفري حسب الترجمة المصرية.

وهذه النسبة تتوازى مع كمية الهيدروجين وتسمح بتمييز مختلف أنواع الفحوم: **فحم الغاز** (٣٢ إلى ٤٠٪ من المواد الطيارة)، **فحم دسم** (١٨ إلى ٣٥٪)، **فحم نصف دسم**، **فحم هزيل**، **فحم هزيل جداً أو انتراسيتي** (٨ إلى ١٠٪).

والفحم الأكثر تقديراً هو الفحم الدسم، بسبب قدرته الحرارية المرتفعة. أما **الانتراسيت** فهو على العكس فقير جداً بالمواد الطيارة. ولكنه بمقابل ذلك، غني بالكربون، وهو جسم قد تصل نسبته إلى ٩٣٫٥٠٪.

ويستبين من تحليل الفحم وجود أجسام فلزية (سيليس، ألومين، أوكسيد الحديد، التي تشكل الرماد)، ومياه مرطابية «هيغرومترية»، وأجسام عضوية هي مواد أولية متحولّة قليلاً (ليغنين، سيللولوز)، وأجسام دبالية، وحمَّر bitumes.

ونجد ضمنه عدداً من الغازات (CO^2, CO, CH^4, O,N)، تنطلق منه بسهولة عندما يسخّن في الفراغ وبحرارة منخفضة. غير أن CH^2 يبقى مسيطراً بشكل عام[1].

ويبدو الفحم في المجهر الميتالوغرافي، على شكل أنقاض نباتية ملبدّة (أنسجة متخشبة، أجسام راتنجية، بَشَرات، أبواغ، طحالب) تجمعها مادة بينية ناجمة عن تحطُّم المواد السيللولوزية[2]. يبدي هذا العجين بنية سائلية، مما يدل على أنه كان هلاماً غروانياً (شقوق تقلص)، وبما أنه يملئُ كل الفجوات، كان لزاماً علينا الإقرار بأنه تفرّد على قاع حوض الترسب، لاحقاً لتوضع البقايا النباتية الدقيقة.

ويمكن، بحسب غلبة إحدى هذه المواد، أن نميِّز مع آ. دوبارك:

١ً ــ فحوماً حجرية كوتينية Cutines (فحوم ذات كوتيكول، فحوم ذات أبواغ أو **الفحم الوقّاد cannel-coals**) تحتوي على أكثر من ٢٦٪ من المواد الطيارة (فحوم ملتهبة وفحوم دسمة) (شكل ١٠٧، I و IV).

---

(١) ذاك هو الميتان CH^4، هو الذي يؤلف الغريزو grizou (غاز المناجم) الذي يصبح اختلاطه مع الهواء مادة متفجرة مذ أن تتجاوز نسبته ٦٪، وهو الذي يتجمع في العديد من شقوق تقلص الفحوم الحجرية.

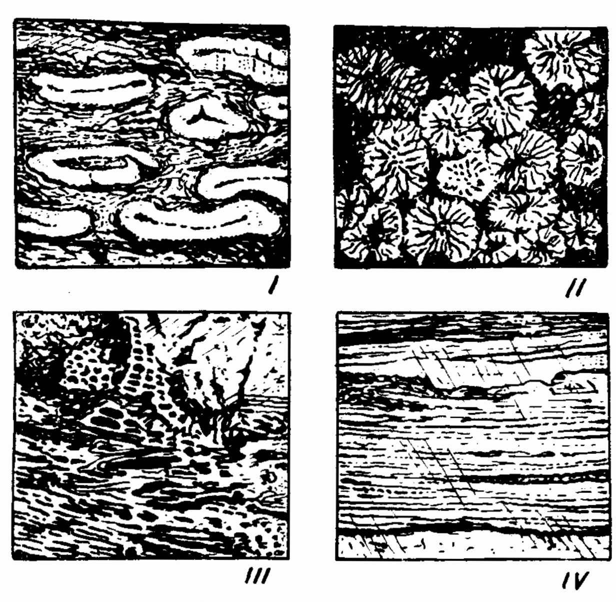
(٢) فيما يتعلق بالنباتات الفحمية التي شاركت في تشكل الفحم (انظر أدناه).

٢ً ـــ فحوماً حجرية ليفية ـــ سيللولوزية (فحم ليفي، فحم سيللولوزي) تحتوي على أقل من ٢٦٪ من المواد الطيارة (فحم كوك، فحم هزيل وانتراسيتي) (شكل ١٠٧، III).

٣ً ـــ فحوماً حجريـة مختلطـة، (جُـلـيْـدي ـــ ليفـي ـــ سيللولـوزي). (نادرة).

يقال عن هذه النماذج الأولية الثلاثة أنها دبالية.

٤ً ـــ وأخيراً فإننا نضيف الفحوم الحجرية الطحلبية أو أو بوغهيد **Bogheads** التـي هي من نماذج الحمـأة sapropèle وتختلـف عن السابقـة بسبب تعرضهـا لتطور حـمّـري.

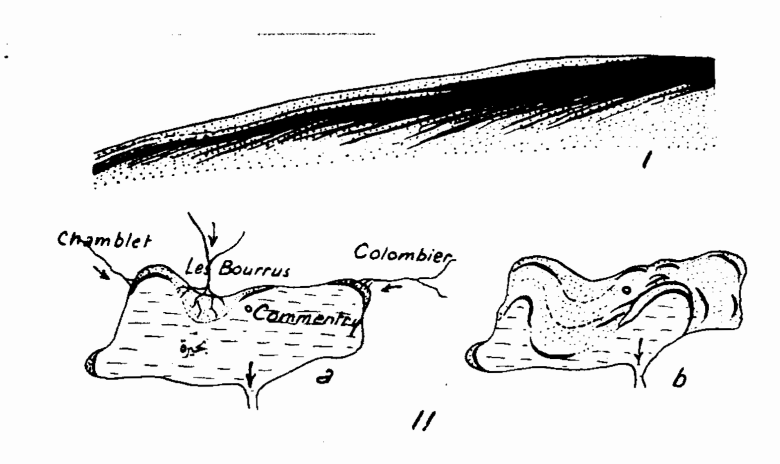


شكل ١٠٧ ـــ بنية الفحوم الحجرية المجهرية. I، فحم حجري ذو الأبواغ (cannel-coal): أبواغ مجهرية وخيوط الأبواغ مجهرية (تكبير: ٥٠). II، فحم حجري من طحالب (pila bibractensis) (Boghead) من البوغهيد البرمية لمنطقة أوتون. III، فحم حجري ليفي ـــ سيللولوزي (تكبير: ٣٥). IV، فحم حجري من قشرات (تكبير: ٣٥).

وبشكل عام، فإن الفحم اللامع يتميَّـز بـغَـلَبة المواد الدبالية البنية. والفحم

الكامد هو بالأحرى فحم حجري من جُـلَيْدين وأبواغ . والفحم نصف اللـمّـاع ، هو فحم حجري ليفي وجليديني ذو ملاط غزير . وبقدر مايحتوي الفحم الحجري على مواد الحمأة بقدر ما يصبح حـمّرياً : ولهذا السبب كان البوغهيد أكثر أنواع الفحوم حـمّراً . وأخيراً فإن البوغهيد الذي يشحن بمواد حطامية يصبح شيستاً حمريّـاً .

منشأ الفحم : يبدو جلياً أن الفحم ينجم عن تراكم هائل لمواد نباتية ، تحولت في معزل عن الهواء وبتأثير الجراثيم ولو كان هذا التراكم قد تـمَّ بالواقع في الهواء الطلق ، لكان كل شيء قد تعرض للتلف . هذا ، وبما أن الفحم ، من جهة أخرى ، يبدي آثاراً أكيدة عن تصنيف عناصره ، ويظهر دائماً بمظهر طبقات سميكة نوعاً ما موجودة بين عناصر حطامية (شيست أو صخور رملية) تشـكل السقف والحائط ، فقد أصبح من الواجب الإقرار بأنه تشكل في الماء ، بعمليات الترسب الاعتيادية . ولكن الأفكار عندها تتباعد وتظهر نظريتان متقابلتان تعالجان الميكانيكية التي سيطرت على عملية تراكم المواد النباتية في موضعها .



شكل ١٠٨ ــ **تشكل دلتاوي لفحم كومّنتري** . I ، تشعب طبقة كومّنتري الكبيرة . II ، تشكل حوض كومّنتري الفحمي ، a ، الدلتاوات تملئ البحيرة تدريجياً . (توضّعات فحمية بالأسود ، لحقيات بالمنقط) . b ، البحيرة ردمت كلياً تقريباً (فايـول) .

واستناداً إلى النظرية المسماة **المجلوبيّة allochtonie** والمبنـيَّـة على الـدراسات

الدقيقة التي قام بها فايّـول في منجم كومّـنتري، فإن المادة النباتية التي تحوّلت لتعطي الفحم كانت قد نقلت بواسطة السيول إلى أحواض الترسب حيث توضعت بين مواد فلزية أخرى، لتساهم في إشادة دلتاوات سيلية. فهنالك حيث بلغ تراكم النبات حداً كافياً، نشأت طبقة من الفحم. وبالواقع، فإن ملاحظة طبقات كومّـنتري (شكل ١٠٨) تُـظهر هذه الطبقات متداخلة في تشكيلات حطامية متشابكة لدرجة يتخذ مجموعها شكل التطبق المتصالب الدلتاوي المتميِّـز جداً ونضيف بأن البقايا النباتية، سواء كانت في طبقة الفحم أو في رسوبات السقف أو الحائط، يمكن أن تحتل أوضاعاً متنوعة. (حتى لقد صادف فايّـول مع ذلك جذع شجرة جذوره نحو الأعلى)، الأمر الذي ينطوي على تعويم ونقل قد يكون لمسافة طويلة. وقد انتشرت نظرية فايّـول هذه، المرتكزة على عدة تجارب، بمجهود آ. دي لاباران في كتابه المطّـول في الجيولوجيا، وبقيت معتبرة ردحاً طويلاً من الزمن لتفسير منشأ جميع أحواض الفحم. وبذلك كان الفحم على هذا الأساس من اللحقيات النباتية الحقيقية.

غير أن دراسة هذه الأحواض بدقة من شأنها أن تظهر أن آلية المجلوبيّـة لا تنطبق عليها بسهولة، وأن اكتشاف ترب نباتية أصيلة فتح الباب على مصراعيه أمام فرضية معاكسة مدعومة من قبل الكسندر برونيار Alex. Brogniart، ثم من قبـل غرانديري Grand'Eury، وهي فرضية **الموضعية الذاتية autochtonie**. وبذلك يصبح الفحم على عكس فرضية فايّـول، يصبح في هذه المرة نتاجاً موضعياً نشأ على طريقة نشأة الطورب، أو بالأحرى في شرائط مماثلة تماماً.

وبقطع النظر عن الجذوع المنتصبة المؤلفة للفحم (ليبيدودندرون، سيجيللير أو كالاميت) التي ذكر وجودها في كثير من مناجم الفحم الحجري والتي أصبحت مستحاثة نوعاً ما، في الوضع نفسه الذي عاشت فيه (شكل ١٠٩)، فإن معظم طبقات الفحم تبدأ بحائط، مؤلف من شيست أو حجر رملي، ومغروز بجذيرات تظهر غالباً على اتصال مع جذور هذه الأشجار أو **ستيغماريا**. وتحتل الجذور والجذيرات مكانها في الأرض التي نشأت فيها والتي شكلت فيها نوعـاً من أرضيـة طوربيـة (خشّـية). وعلى هذا تكون هذه الحيطان عبارة عن ترب مستحاثة (شكل ١١٠)،

والركام النباتي الذي أصبح هو الفحم، قد تشكل عند أرومات الأشجار التي تفرش التربة المغمورة ببحيرة لاغونية واسعة طوربية. ويمكن، في الطبيعة الحالية، إجراء مقارنة بين هذه البحيرات التي تعود للعصر الكربوني وبين المستنقعات الواسعة ذات أشجار السرو الصلعاء في فيرجينيا (Great Dismal Swamp)، أو المخثات المشجرة في سواحل البلطيق (Kurisches Haff).

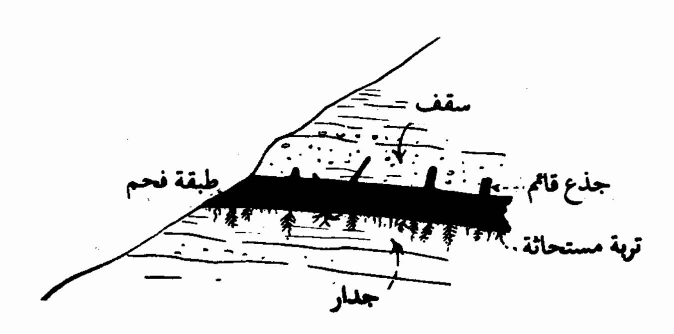


شكل ١٠٩ ــ **غابة فحمية مستحالة** (جذور ليبيدوفيتات)
(فكتوريا بارك، هوايتينش، إلى القرب من غلاسكو).

ونضيف إلى ماتقدم أنه إلى القرب من النبات هذا المنقعي (ليكوبوديال شجري ومتمفصّلات Articuleés) ذي الكثافة الخارقة، كان يزدهر على المرتفعات المحيطة باللاغون نبيت (فلور flore) أكثر جفافاً (سراخس، بتريدوسبرمة وكوردائيتال) جُلبت بقاياه التي استحالّت في الرسوبات المختلطة مع طبقات الفحم على يد السيول خلال الفيضانات.

لقد جاءت دراسات بوتونييه على الطورب والحمأة مؤيدة للخطوط الكبرى لنظرية الموضعية، التي تبناها معظم الأخصائيين الحاليين بعد إدخال بعض تعديلات طفيفة عليها.

وقد أظهر بوتونييه، معتمداً على ملاحظات تابعها على المخثات (tourbières) أو الأراضي التي يكثر فيها الطورب وعلى بعض بحيرات في ألمانيا المركزية، أن هناك مجالاً



شكل ١١٠ ــ طبقة من الهوي مع تربة مستحالة.
آثار من جذور (**ستيغماريا**) وجذوع منتصبة في موضعها.

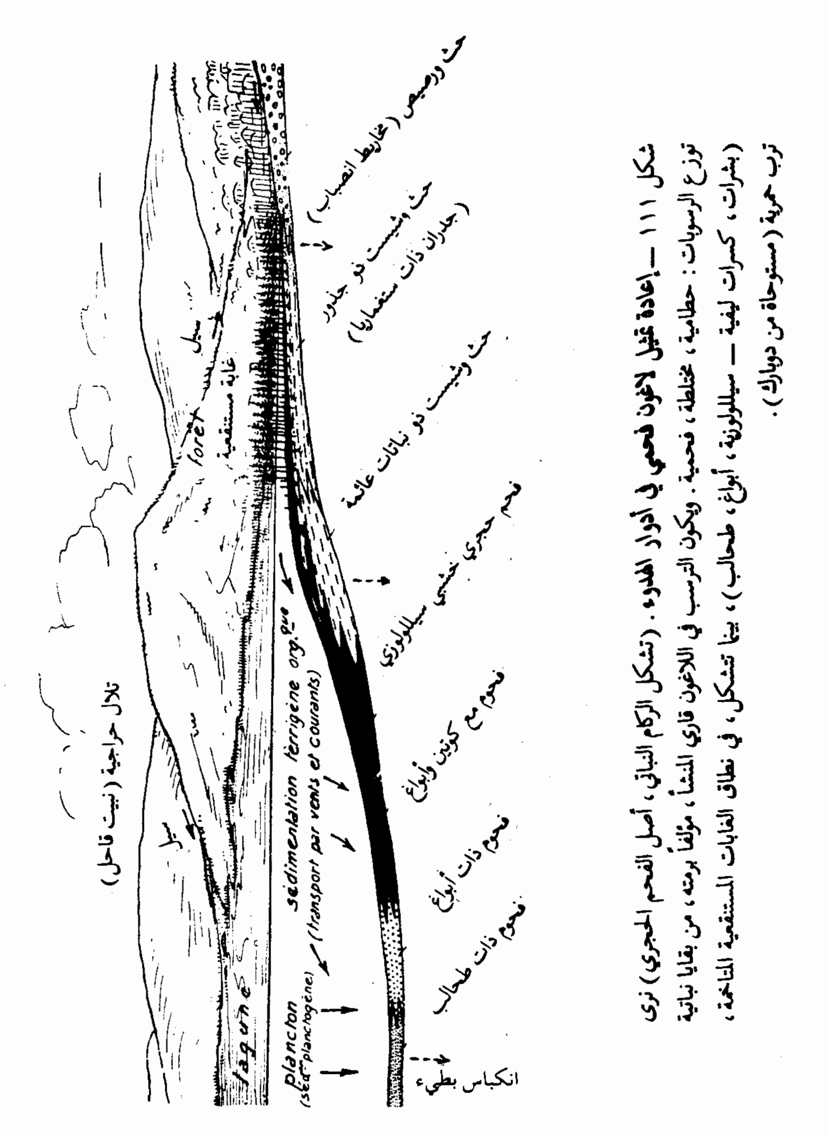
للتمييز بين المحروقات التي نشأت بالطريقة الدبالية، على شاكلة الطورب (ليغنيت ومعظم الفحوم وبخاصة الفحوم اللمّاعة) (التفحُّم)، وبين التي تنجم عن عملية التحموُ (ترسب غزير للعوالق النباتية في مياه قليلة التهوية وعميقة) والتي تؤدي إلى تشكل فحوم حجرية حمُّرية (بوغ ــ هيد وكانيل ــ كول، وفحوم حجرية كامدة) وشيست حمّري. وإن اجتماع هاتين الوسيلتين قد نصادفه في بعض المخثات الحالية حيث تتعاقب سافات دبالية مع سافات حمئية أو رمية وأن هذا الاجتماع أيضاً هو الذي يظهر في الفحوم ذوات نطاقات لامعة وكامدة على التوالي. وهكذا نرى إذاً أن طبيعة فحم حجري ما تصبح مفروضة لا بطبيعة المواد النباتية الأصلية فحسب، ولكن أيضاً بالشرائط التي يتم فيها تعفنها أو تفسُّخها.

وأخيراً برهنت الدراسات الميكروغرافية لدوبارك على فحم حجري حوض الشمال في فرنسا، على أن هذه الفحوم تشهد دائماً تطبقاً ناعماً للغاية وشديد الدقة، وأن أقل العناصر المتصوِّرة للفحوم الجُليْدية أو الليفية ــ السيللولوزية، تبدي آثاراً واضحة عن حصول نقل. وكذلك، ودون الاعتراض على الصفة الموضعية المؤكدة للحيطان ذوات **الستيغماريا**، فإن دوبارك يعتبر أن تشكل طبقة الفحم هي ظاهرة طبيعية مختلفة دخلت فيه مجلوبية طفيفة مع نقل للمواد عن طريق التعويم في مياه هادئة أو بالريح (أبواغ مبعثرة كغبار طلع صنوبريات حالية في برهة «أمطار الكبريت».

وهكذا، يرى دوبارك، «أن ميكانيكية أو آلية تشكل طبقات الفحم هي إذاً مماثلة لآلية معظم الصخور الرسوبية المتصلبة ذات الأصل القاري». وسيشرح نخب المواد العضوية في اللاغون لنا ولادة وتوزيع مختلف السحنات الفحمية (شكل ١١١). فعند حافة اللاغون، وجدت النطاقات المشجّرة المستنقعية الطورية (حيطان المستقبل ذات ستيغماريا)، وعند التقدم في عرض البحيرة، وتحت سماكة مياه متزايدة، كانت تتطبق الرسوبات الوحلية أولاً أو الرملية الناعمة على جرف البحيرة المغمور (أحجار رملية وشيست فيها بصمات نباتات)، ثم المواد العضوية التي تكون أنعم فأنعم: بقايا ليفية و سكلرنشيمة للفحوم الليفية ـــ السيللولوزية، بقايا دقيقة من أوراق وأبواغ الفحوم الجُلـيْدية والكانل ـــ كول، وأخيراً عناصر عوالقية planctoniques مؤلفة بخاصة من طحالب صغيرة مشابهة لِـ (Pila Reinschia) Batryococcus في البوغهيدات. وهكذا نرى إذاً أن طبقة من الفحم لم تنشأ على حائط نبات ذي ستيغماريا إلّا بنتيجة انخفاس السطح القاري أعقبه طغيان مياه اللاغون العذبة الذي جاء يغمر ويخرّب، ولو جزئياً على الأقل، الغابات الهامشية، ليحولها إلى غابات مستحاثة. وبالعكس فإن انحساراً للمياه ناجماً عن غوص اللاغون (انكباس) من شأنه أن يضع تحت تصرفه مساحات شاسعة عن طريق تكبير مجال السطح القاري الذي انحسرت عنه المياه.

وهكذا، فإن أدوار هدوء نسبي طويلة، مواتية لتشكل الفحم، قد تعقبها أطوار سيلان عنيف تقريباً تكون خلالها كتل النباتات مثبتة بلحقيات حطامية. وخلال هذه الأدوار، يمكن أن تصل أيضاً مواد نباتية مجروفة بواسطة السيول إلى اللاغون وتساهم بإغناء «الشورباء» النباتية التي توضّعت فيه.

غير أن المدهش في تشكل الفحم هو أن تكرّر تتالي ظاهرات كهذه عدداً كبيراً من المرات في كل حوض (حتى ٤٠٠ مرة فيما يتعلق بالحوض الفرنسي ـــ البلجيكي)، وبشكل كامل لدرجة كانت تتحقق فيها في كل مرة، الشرائط الضرورية لتشكل الفحم.



شكل ١١١ ـــ **إعادة تمثيل لاغون فحمي في أدوار الهدوء** . (تشكل الركام النباتي ، أصل الفحم الحجري) نرى توزع الرسوبات : حطامية ، مختلطة ، فحمية . ويكون الترسب في اللاغون قاري المنشأ ، مؤلفاً برمته ، من بقايا نباتية (بشرات ، كسرات ليفية ـــ سيللولوزية ، أبواغ ، طحالب) ، بينما تتشكل ، في نطاق الغابات المستنقعية المتاخمة ، ترب حمرية (مستوحاة من دوبارك) .

ب ـــ هيدروكاربورات طبيعية بترول وشيست حمّري bitumineux

تجهز لنا الطبيعة الهيدروكاربورات على شكلين : **الحمّر الحرّ** ، وهو ذوّاب في أجسام خاصة (أثير ، كلوروفورم ... إلخ) ، **والحمّر الكموني** وهو غير ذوّاب ولا يمكن نزعه عن الصخر المرتبط به إلّا بتقطير . ويوجد بين **الحمّر الحرّ** ما هو غير

مؤكسَد: **الغازات**، **البترول**، **والشموع الفلزية** أو **الأوزوكيريت**، والقسم الآخر مؤكسَداً ويؤلف **الأوكسيبيتيوم** أو **الزفت**. أما ما يتعلق بالحمّر الكموني، فإنه يتمثل **بالبيروبيتوم** أو البيتوم الناري **والشيست البيتوميني**.

وغالباً ما تكون هذه الأجسام مجتمعة مع بعضها في الطبيعة.

الشيست الحمّري: هو شيست أسود، زرقاوي أو رمادي، غالباً ما يكون مظهره ورقي القوام ويظهر طلاء أبيض. يمكن أن يعطي تقطيره زيتاً معدنياً مرغوباً في الصناعة: وبعض الشيست الحمّري، المستثمر في الولايات المتحدة في الإيوسين، يمكن أن يعطي من ٤٥ إلى ٩٠ل بالطن. وفي فرنسا فإن أشهره هو شيست أوتون Autun الحمّري يعود للبرمي ويجتمع محلياً مع البوغهيد. وكما رأينا سابقاً فإن هذه الصخور تشكل جزءاً من المعقدات الحمئية «الرمية» وتنجم عن تراكم وفساد كائنات عوالقية في وسط موحل محروم من الهواء.

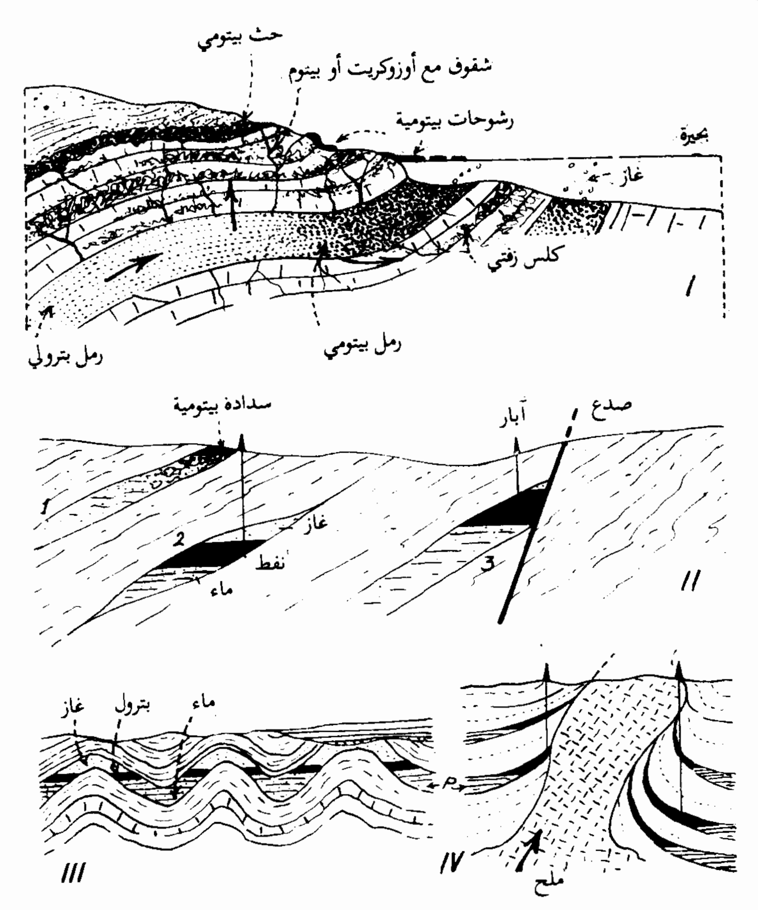
البترول: هو جسم مائع تقريباً، أسود أو مخضر، ذو رائحة عطرية، فلوريّ بالانعكاس، مؤلف من خليط متنوع من الهيدروكاربورات. وهو لا يحتوي على أوكسجين (وهذا ما يميّزه عن الفحوم الحجرية)، بل على آثار من كبريت، آزوت وفوسفور. ونضيف إلى ذلك وجود مشتقات الكولستيرين. يفسّر فعّالية البترول ضوئياً، تلك الفعّالية التي لا تكون أبداً في المنتجات الفلزية المنشأ. وتؤكد هذه الشوائب مسبقاً أصل البترول العضوي.

كثافة البترول متحوّلة ومرتبطة بتركيبه الكيميائي ولزوجته، وتتراوح بين ١ و ٧٥ر٠.

وتتمايز نماذج البترول الكبرى عن بعضها إجمالياً على الوجه التالي: بعضها عبارة عن كاربورات مشبعة أو بارافينية، من زمرة الميتان (C^nH^{2n+2}) وهي أنواع البترول الأمريكية، وقسم آخر منها عبارة عن كاربورات نافتينية $(CH^2)^n$، تنتسب إلى زمر مشبعة دورية فقيرة بالبارافين مثل بترول باكو. وقسم أخير يخص كاربورات من النموذج

البنزيني أو العطري كبترول بورنيو مثلاً. هذه النماذج الأخيرة هي الأخف وأسعارها التجارية أعلى من غيرها.

تحدد شرائط تكمُّن البترول بطبيعة الصخور التي تحمله وبنيتها التكتونية (شكل ١١٢).

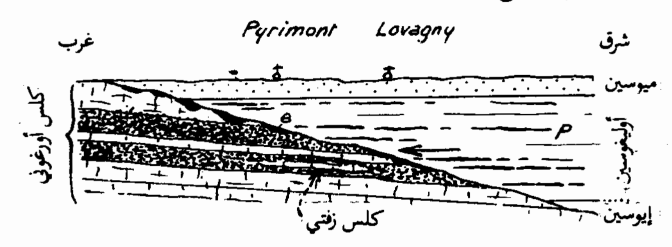


شكل ١١٢ ــ **صخور حاوية على بترول**. I، شرائط تكمُّن مختلف الصخور الحاوية على البترول. II، توزع البترول في عدسة رملية: مكمن مفتوح، مكمن مغلق، مكمن محتجز بفالق. III، توزّع الماء، البترول، والغاز في زمرة ملتوية نظامياً. IV، مكمن طية ثاقبة (دیابیر).

وتدعى الصخور التي تحتوي على بترول مائع **الصخور الخازنة roches**

réservoirs أو الـمخزنية **roches-magasins**، وهي صخور مسامية مثـل الرمـال، والأحجار الرملية، الأركوز، الدولوميا، الكلس الحـوّاري... إلخ (شكل ١١٢، I). أما **صخور الأمهات** للبترول التي تكون غضارية دائماً، فإنها نادراً ما تكون حاملة للنفط، لأن البترول قد تخلص منها مبكراً ليستقر في الصخور المسامية المجاورة. وبالواقع فإن البترول، باعتباره أخف من الماء، فإنه يميل للصعود نحو السطح، مترافقاً مع الغاز. وإذا ما بقي في وسط صخر خازن كالرمل، فإنه يتوزع فيه على شكل عدسات تحتوي بالتتالي، ومن أدنى إلى أعلى، على ماء، بترول، وأخيراً غاز. (شكل ١١٢، II). وهذا الأخير بوسعه أن يؤلف، بانطلاقه إلى الخارج، **قرينة** جيدة، تنم عن وجود بترول عميق، وكذلك البترول الذي يصل إلى سطح الأرض، يتأكسد عليها ليعطي رشوحات حمرية في شقوق الصخور أو على سطح مياه الينابيع أو البحيرات، وأن كل هذه التظاهرات هي أيضاً قرائن تفيد المنقبين.

وقد تتم أكسدة البترول هذه على نطاق واسع في الصخور المبـلّلة به. وهكذا نشأت **الأحجار الرملية الحمرية و الصخور الكلسية الزفتية** بخاصة، الموزعة بكثرة في الجورا الجنوبية [1] (شكل ١١٣).



شكل ١١٣ ـ **منشأ زفت الجورا الجنوبية**. هجرة الزيت الجانبية اعتباراً من عدسات حاملة للبترول (p) تعود للأوليغوسين جاءت تشـرّب الحافة الأورغونية للطيات الجوراسية، e، بالأسود، جيوب من رمال إيوسينية. (عن جينيو و ل. موريه).

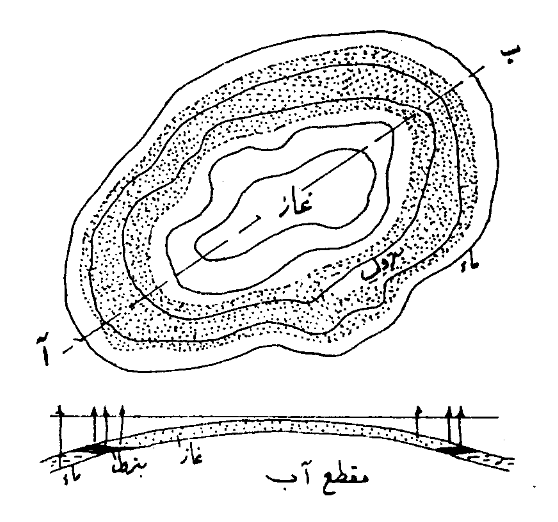
ولكي يتمكن البترول من الاحتفاظ بصفاته الأصلية مكمنياً، يتوجب عليه إذاً

(١) تلك هي النطاقات الحـوّارية للكلس الأورغوني لحافة الطيات الجوراسية، المشـرَّبة بالاسفلت. لقد حصل هذا التشرب نتيجة هجرة جانبية للبترول المولد في السابق في اللاغونات الأوليغوسينية، المحيطة بالألب (شكل ١١٣).

أن يكون **محمياً في** مكمنه بسقف محكم الإغلاق يعزله عن الهواء الخارجي. فيكون معنا عندئذ مكمن يقال عنه **مغلق**، وهو مكمن يقابل بالتالي مكامن **مفتوحة**، غير محمية جيداً وعرضة دائماً تقريباً للتلف بالأكسدة أو بنزوح الزيت.

وتعود حركية البترول أولاً إلى خفته، وهي منوطة أيضاً بالضغط المكمني الذي يكون هاماً أحياناً. وهذا الضغط يتأتّى من الشحنة الهيدروستاتيكية للماء التي تمارس عملها من أدنى إلى أعلى، ومن القوة الانتشارية (التمددية) للغازات المرافقة، وأخيراً من ثقل الرسوبات.

فيمكن إذاً أن تحصل **هجرة محلية**، في المكمن نفسه، ولكن عندما تتّحد مع الأفعال، أفعال التكتونية، وهي أيضاً أشد قوة، فإنه يصبح بالإمكان حصول **هجرة إقليمية** حقيقية.



شكل ١١٤ ــ توزع الماء، البترول والغازات في المكمن الحامل للبترول في وادي القطن (لويزيانا)
(J.S.Ross).

فالبترول يبدأ عندئذ بالتحرك ويبدّل مكمنه سعياً وراء آخر حتى تتوفر له شرائط بنيوية أخرى، **مصائد بترول** أخرى كما يقولون أيضاً، يتمكن من أن يتجمّع فيها ويستقر في مكمن جديد. وهكذا، إذا تصورنا طبقة رملية عميقة حاملة للبترول

لحقها الطي، فإن من المسلّم به أن يتراكم الماء في أعماق «المقعرات» وأن يسعى البترول والغاز للانتشار على طول المحاور ذات المنحدرين أو المحدّبات (شكل ١١٢، III و شكل ١١٤). إن قاعدة المحدب هذه يلجأ إليها مستثمرو البترول، لتحديد مكان حفرياتهم. ويمكن للفوالق أيضاً أن تؤلف أحياناً سدوداً للبترول، وكذلك الأمر بالنسبة لكمية من نماذج بنيوية أخرى، التي لا مجال للإلحاح عليها، تكون بمثابة مصائد جيدة للبترول.

منشأ البترول: لتفسير تشكل البترول يؤخذ أيضاً بفرضيتين: إحداهما، وهي فرضية الكيميائيين، تؤكّد أن البترول من منشأ فلزي وينجم عن تفاعلات تحصل في أعماق القشرة الأرضية، بين يحموم كاربوري والهيدروجين الذي تولّد بفعل الماء على المعادن القلوية والقلوية الترابية الحرّة. وقد سمحت تراكيب ساباتييه بالواقع بإعادة إنتاج مختلف نماذج الهيدروكاربورات الطبيعية، بهدرجة الأسيتيلين مع وجود معادن مرجَعة (كوبالت، نيكل، حديد)، وضمن شرائط متحولة من الحرارة. فحسبما تجري التجارب بدرجة ٢٠٠° أو ٣٠٠°، يمكن الحصول على كاربورات تذكّر ببترول بنسلفانيا، أو القفقاس أو غاليسيا. ولكن علاوة على أن هذه المنتجات لا تحوي مطلقاً أجساماً فعّالة ضوئياً، فإن الفرضية الكيميائية لا تصمد عندمجابهتها بالوقائع الجيولوجية. والفرضية المقابلة عن المنشأ العضوي للبترول تنضوي إليها في يومنا هذا غالبية الأصوات.

وتعتمد هذه النظرية أيضاً على تجارب تركيبية نجحت في إعادة تشكل البترول الطبيعي بتقطير مواد دهنية حيوانية (أنجلر) أو أوحال الطحالب (بوتونييه). ومن المقرّر إذاً بأن الهيدروكاربورات تتأتّى عن تفسُّخ المواد العضوية ضمن بعض شرائط مختلفة عن شرائط تشكل الفحم. وإننا نعلم أن مجرد تجمع طحالب مجهرية بإمكانه أن يؤدي في بعض البحيرات، إلى تشكل أجسام تدعى بالحمأ Sapropèles وهي مسبقاً منتجات حمّرية.

إننا نعلم بوجود حمأ مستحاثي، ويتمثل بالشيست الحمّري والفحوم الحمّرية أو البوغهيد وهي التي يمكن استخراج هيدروكاربورات سائل منها بالتقطير مماثل

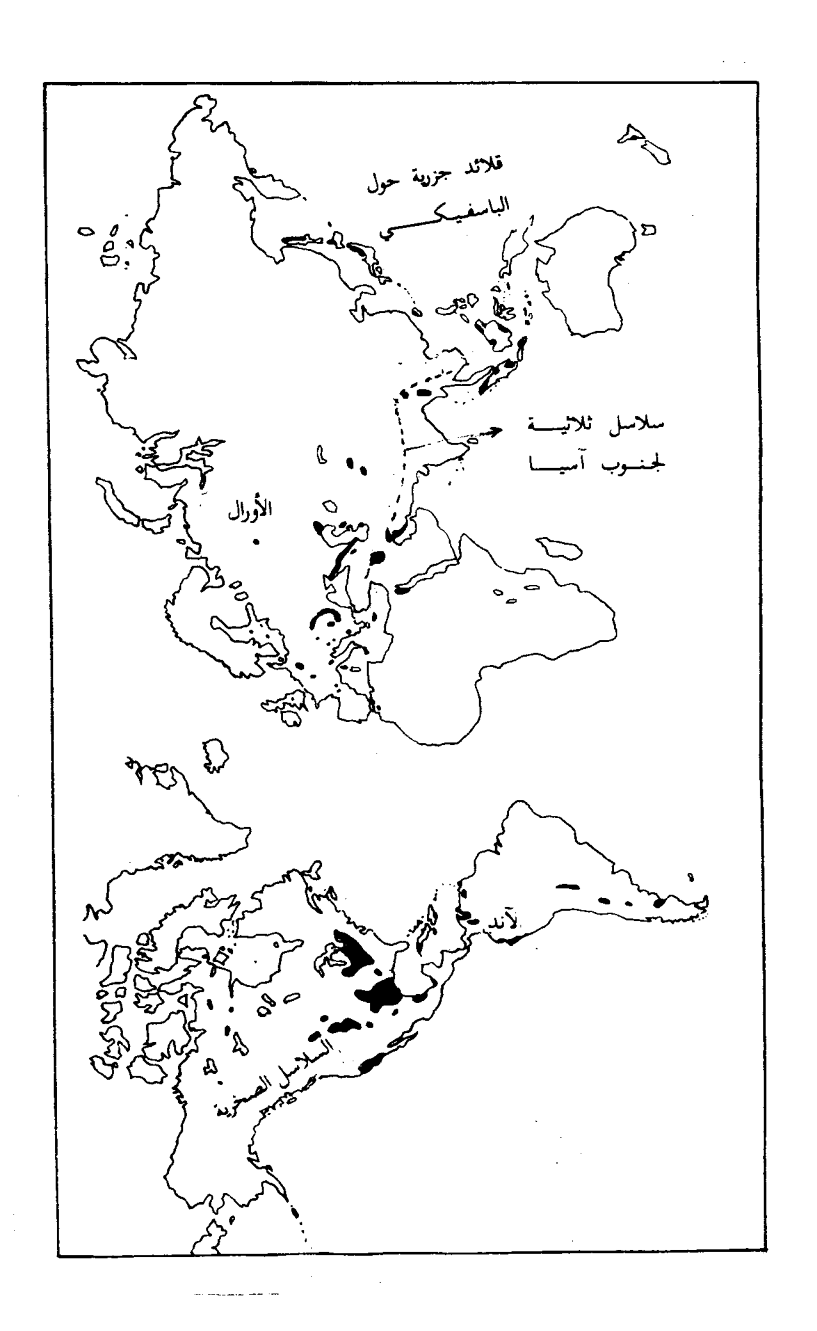
للبترول. ومن المحتمل أن يكون نشوء البترول قد تم، في مراحله الأولية على الأقل، في شرائط مشابهة لعملية تشكل الحمأ الرمي.

ولتفسير التجمعات الهائلة للمواد العضوية التي يتطلبها نشوء مكامن البترول، يلجأ العلماء إلى نظرية اللاغونية التي أتينا سابقاً على ذكرها بمناسبة الصخور اللاغونية. لقد حصلت في هذه اللاغونات، تجمعات لكائنات عوالقية، بصورة مستمرة، وأدّى تفسُّخها في موضعها إلى تشكل الهيدروكاربورات. وهذا التفسخ من منشأ جرثومي، ولقد اكتُشف بالواقع، في بعض بترول الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي، نبيتات (فلورا) حقيقية حيَّةً وقادرة على عدة أعمال قابلة للاختمار (إرجاع الكبريتات إلى كباريت تفسخ الآحينات والسيللولوز ... إلخ). ويمكن إذاً لهذه البكتريات، بتفاعلها مع المواد العضوية وبتحطيمها جزيئات حمض دهني، إعطاء هيدروكاربورات.

ولنضيف أن هذه المتعضيات لم تتمكن من العمل إلّا بمعزل عن الهواء وتحت طبقة جسيمة من الرسوبات. ولقد توفّر هذا الغطاء الكتيم برهة وصول مياه عذبة إلى إلى اللاغون الذي، بإثارته التميّه hydrolyse وإزالة ندف الغضار الصودي، قد سدَّ المكامن نهائياً.

وهذه النظرية اللاغونية عن منشأ البترول تجد تأييداً آخر لها في واقع مشاهدة، ترافق مكامن البترول بصورة دائمة تقريباً مع معقدات لاغونية من جبس، دولوميا أو ملح، وكون المياه في المكامن مؤلفة غالباً من مياه مالحة برومية ـــ يودية.

ويشار التوزع العالمي للمكامن الحاملة للبترول على الخريطة، (شكل ١١٥).



شكل ١١٥ ــ التوزع العالمي لمكامن الهيدروكاربورات .

VII ــ الصخور الفوسفاتية

نصادف الرسوبات الفوسفاتية المرغوبة كثيراً للزراعة، على شكلين: بعضها عبارة عن كلس فوسفاتي أو أحجار رملية فوسفاتية تحتوي على الفوسفات ثلاثي الكلس بحالة بقايا عظمية، وتخثرات أو حبيبات صغيرة (أحجار رملية تعود للألبيان، فوسفات افريقيا الشمالية... إلخ)، والقسم الآخر عبارة بالأحرى عن تشكيلات ثانوية ناجمة عن تأكلس الصخور السابقة وتركيز الفوسفات موضعياً بفعل أسباب ميكانيكية (فوسفات بيكارديا) أو كيميائية (فوسفوريت كيرسي).

فوسفات افريقيا الشمالية: تشكلت هذه الفوسفات خلال الكريتاسي الأعلى والإيوسين، على الحافة الشمالية للقارة الإفريقية، وفي بحر قليل العمق. وتمتد المكامن بدءاً من تونس حتى المغرب(*)، وهي غاية في الأهمية من حيث الامتداد والسماكة. وأغناها فوسفات المغرب، التي يبلغ غناها حتى ٧٦٪ من الفوسفات ثلاثي الكلس. وهي عبارة عن مارن وكلس فوسفاتي مرصّع بتحبُّبات صغيرة فوسفاتية يتراوح قطرها من ١ إلى ٢م متجمعة بملاط كلسي فيه قلة من الفوسفات. إن عدم وجود الإسمنت يضفي على التشكيلة مظهر رمل عالي النسبة ومرغوب كثيراً.

وكما هي حال معظم الرسوبات الفوسفاتية، فإن فوسفات الكلس فيها من منشأ كيميائي ــ حيوي. فبالإضافة إلى الحبات الفوسفاتية، توجد في هذه التشكيلات بقايا عظمية من الأسماك بأعداد لا تحصى، وهي بحد ذاتها فوسفات كلسية. كما أن جثث هذه الحيوانات، بتفسخها فوق القاع، أعطت الأمونياك (روح النشادر) الذي حوّل الأملاح العضوية الفوسفورية إلى فوسفات الأمونيوم، وبإمكان هذا الأخير، بدوره، في وسط مائع وبتأثير كربونات كلس رسوبات في طريق التوضّع، ومياه البحر، إعطاء فوسفات الكلس. ويقدّر كايّو أيضاً أن الوسط الذي

(*) بل وحتى في الصحراء الغربية والسنغال.

كانت تتطور فيه هذه المتعضيات يجب أن يكون غنياً للغاية بحمض الفوسفور وأنه تداخل بهذه الصفة في تشكل الفوسفات الذي كان ترسيبه ميسوراً بتأثيرات بكتيرية .

ولكن السؤال الذي يطرح نفسه هو ، هل هناك إمكانية لحصول أمثال هذه التراكمات من الأسماك ؟

إنها ناجمة ، بلا شك ، عن تغيرات سريعة في شرائط الحياة للأوساط التي كانت تؤدي لموت كميات كبيرة من الحيوانات .

وهكذا نجد على الجرف القاري لجزيرة الأرض الجديدة حيث يوجد سمك الغادس Morues بغزارة ، أن تيار الخليج Gulf-Stream الحار يصادف التيار الكبير البارد الوافد من البحار القطبية مؤدياً إلى مجازر بين الكائنات المجلوبة على متن هذين التيارين[1] . وعلاوة عن تحوّلات الحرارة المفاجئة ، فإن تبدلات في الملوحة قد تؤدي إلى نفس النتائج المميتة ، التي يتوجّب أن نزيد عليها ، فيما يتعلق بالبحار القديمة ، انقطاعات توازنية ناجمة عن تغيرات في نظامها .

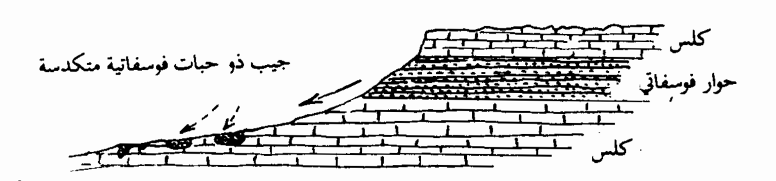
ويجذب تراكم جثث الحيوانات هذا الأسماك الضارية كأسماك القرش التي تعمل على شنّ معارك حقيقية منسّقة فتضيف جثثها إلى تلك التي تكون مطروحة من قبل على القاع . وهكذا فإن باستطاعتنا القول بأن هذه المكامن الفوسفاتية هي ميادين معارك قديمة ومقابر حيوانات .

فوسفات الحوّار : تتمثل بالحوّار الرمادي والأسمر في شمال فرنسا وبخاصة في البيكاردي (شكل ١١٦) ، حيث تظهر فوسفات الكلس فيها على شكل تحبُّبات صغيرة ، تحتل مراكزها غالباً مستحاثة مجهرية . وبصورة عامة ، فإن هذا الحوّار ليس غنياً كفاية حتى يصار إلى استثماره ، ويستعملون فقط التراكيز المحلية للحبات

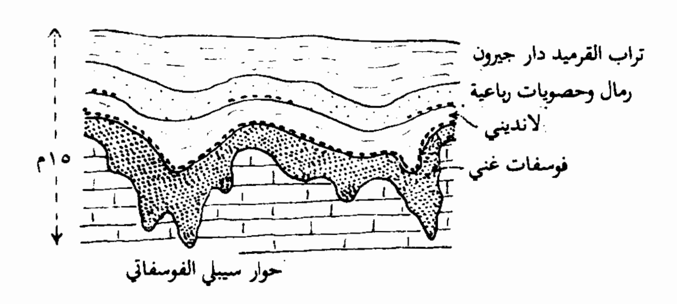
---

(١) إلى الجنوب من رأس الرجاء الصالح Bonne Esperance ، أمكن تجريف تخثرات فوسفاتية على Agulhas Bank ، وبالدقة في موقع يصادف فيه تيار بارد ، خارج من المحيط المتجمد الجنوبي ، تياراً حاراً آتياً من خط الاستواء .

الفوسفاتية التي تشكلت في جيوب الصخر المحلي في برهة دور التأكلس الشديد الذي أعقب طفوّ المنطقة (شكل ١١٧).



شكل ١١٦ ـ شرائط تكمُّن حوّار بيكاردي الفوسفاتي.



شكل ١١٧ ـ جيب ذو فوسفات غنية في سيبلي «Ciply» (F.Cornet).

فوسفات الألبياني: وهي بخاصة عبارة عن رمال وأحجار رملية غلوكونية، ذات مستحاثات وتخثرات فوسفاتية. ونصادف التخثرات في رمال الآرغون والآردين حيث تشكل فيها سافات من عقيدات فوسفات الكلس شديدة القساوة تدعى كوكان Coquins. وكانت تستغل فيما مضى، في الأحجار الرملية الغلوكونية، الواقعة في جنوب شرق فرنسا، بعض طبقات ذات ملاط فوسفاتي مؤلف تقريباً بكليته من بقايا مستحاثة (وبخاصة الأمونيت) والذي يتراوح غناه بالفوسفات من ٣٨ إلى ٥٥٪ (في كلانسايس في إقليم الدروم).

فوسفات اللياس : وتكون الفوسفات هنا بالأحرى عبارة عن كلس فوسفاتي، تكون فيه الفوسفات دائماً بحالة عقيدات (مورفان، كوت دور).

فوسفات دينانسية: نصادفها في جبال البيرينيه (آرييج وغارون العليا) وتظهر بمظهر السحنة الخاصة بالشيست الأمبيليتي[1] مع ليديانات ذات شعاعيات سوداء محتوية على فوسفات الكلس بحالة كرات ضخمة سوداء. وبغض النظر عن الكرات التي توشك أن يصل غناها إلى ٦٥ وحتى ٧٠٪ من فوسفات الكلس، فإن غنى الصخر بالفوسفات يتراوح بين ١٥ و ٣٥٪. غير أن اللون الأسود والموسِّخ لهذه الفوسفات بالإضافة إلى قساوتها الشاذة يسيئان مع الأسف إلى الفوسفات تجارياً، بالرغم عن كونها قابلة التمثل مباشرة من قبل النباتات كما يبدو دون تحويلها مسبقاً إلى سوبر فوسفات[2].

شكـــل ١١٨ ــ جيب ذو **فوسفوريت كيرسي** (B.Gèze).

فوسفاريت كيرسي : الفوسفاريتات هي توضعات متبقية تملئ الشقوق والجيوب لكارست قديم تشكل، خلال الإيوسين والأوليغوسين، على حساب الكلس الجوراسي الفوسفاتي لهضاب الكوس (شكل ١١٨).

وتشتمل الحشوة على غضاريات مماثلة لغضار التأكلس في الكوس، غير أنها تحتوي على حمّصات من الليمونيت وتخثرات من الفوسفات (بخاصة كولوفانيت)

---

(١) الامبيليت من مشتقات الغضاريات الغنية بالمواد العضوية والبيريت (المترجم).

(٢) لاستعمال الفوسفات الطبيعية في الزراعة، يجب بالواقع تحويلها إلى سوبر فوسفات. ولهذا السبب تعالج بحمض الكبريت الذي يحوِّل الفوسفات ثلاثية الكلس وغير الذوابة إلى أحادية الكلس ذوابة.

قد تتخذ أحياناً مظهر بريش متراص تقريباً حاوٍ على عظام. ذلك أن سيلان المياه بوسعه أحياناً أن يُدخل في تجاويف الكارست أنقاضاً من فقاريات تختلط مع أنقاض الحيوانات الكهفية Cavernicoles، ومع منتجات التأكلس العائدة لمنشأ عميق أو سطحي، وأن زحزحة جميع هذه المواد الفلزية بالمياه الحمضية، هي التي أدَّت بالنهاية إلى إعطاء الفوسفوريت. هذا ويمكن مقاربة التشكيلات الفوسفاتية السيلورية ــ الديفونية المتأكلسة في ولاية التينيسّه (الولايات المتحدة)، التي تبدو على شكل تخثرات ذات عظام أسماك مستحاثة يمكن مقارنتها بالفوسفوريت.

VIII ــ الصخور الحديدية

لن نبحث هنا إلّا في الصخور الحديدية التي يمكن استعمالها كخامات حديد، ومن بين هذه الخامات، تلك التي تعرف باسم خامات حديد سرئية أو بيوضية. وهذه الخامات ليست نادرة وتظهر على عدة مستويات من الزمرة الجيولوجية (سيلّوري، آاليني، كالّوفي، أوكسفوردي ... إلخ).

وتتألّف بكليتها بشكل رئيسي، كما يبدو، من بيوض أو سرئيات كلوريتية متحوِّلة أحياناً إلى أوكسيد الحديد، واننا نعلم أن كلوريتها يتخذ فيها السحنة الخاصة بالشاموزيت، بافاليت أو بيرتييرين.

خامات سيلوري غرب فرنسا السرئية: وتقع هذه الخامات الفلزّية، في النورماندي ــ السفلى وفي المين، تحت صخور الشيست ذات مستحاثات الكاليمين، حيث تشكل طبقة سماكتها الوسطى ٥ر٢م. وتتوسط السرئيات الكلوريتية، التي تكون بيضوية ومشوهة، أنقاضاً رضيخية دقيقة ومتلاحمة بعضها بعضاً بخليط من بلورات رضيخية من سيديروز وكلوريت. وغالباً ما تكون هذه السرئيات متأثرة بالهيماتيت والاستحالة، مما أدّى لتشكل أوليجيست أو ماغنيتيت اللذين يظهران عندئذ على شكل بلورات صغيرة جداً تحت قشرة السرئيات.

خامات لياس اللورين السرئية: وتشغل على الحاشية الشرقية لحوض باريس نطاقاً واسعاً من التكشف لذروة اللياس وتحت الباجوسي الكلسي، حيث تبدي جميع الطبقات ميلاً ضعيفاً نحو الغرب.

يمكن تمييز حوضين: إلى الشمال حوض لونغوي ــ بريي حيث يجري الاستثمار من تحت الأرض وإلى الجنوب، حوض بونتا ــ موسّون ــ نانسي حيث يجري الاستثمار بالأروقة على خاصرة منحدر ضلع صغير وتفصل بين هذين الحوضين منطقة عقيمة من محدب اللورين الذي يمرّ بمدينة ميتز Metz.

وتوجد ست طبقات رئيسة تتعاقب مع صخور كلسية فيها قلة من الحديد، وتتميز بحسب ألوانها: صفراء، حمراء ورمادية ــ وهي الأكثر استثماراً ــ، سوداء وخضراء. ويندر أن يتحقق تعاقب جميع هذه الطبقات على نفس الخط الرأسي، أو الشاقولي، ومجموعة الطبقات المستثمرة تبلغ ٦٠م من السماكة في حوض لونغوي ــ بريي و ١٠م في حوض نانسي.

ويكون الخام الموجود فيها، ويدعى أيضاً مينيت minette، يكون بحالة سرئيات من الهيماتيت الأسمر مع قليل من الهيماتيت الأحمر وحديد مغناطيسي، وكربونات وكلوريت، والبيريت الموجود فيها نادر تقريباً. واستثمار أية طبقة لا يحصل إلّا اعتباراً من نسبة ٣٠ إلى ٤٠٪ من الحديد المعدني. والنسبة المئوية الأعظمية هي ٥٠٪.

ومما لا شك فيه أن ظاهرات الزحزحة والحركات بفعل تيارات تحت بحرية، قد لعبت دوراً كبيراً، برأي كايّو، في تشكل هذه الخامات. واستناداً إلى بحوث كايّو، فإن هذه السرئيات كانت في البداية كلسية، ولم تصبح حديدية إلّا ثانوياً وبمرورها بأطوار كربوناتية، سيليكاتية ومؤكسَدة. غير أن مؤلفين آخرين اعتقدوا بأن السرئيات كانت بالأصل كلوريتية أو كربوناتية حديدية، ومهما يكن من أمر، فإن هذه السرئيات زحزحت بعد تشكلها ثم نقلت وتراكمت في حوض آخر حيث جرى تلاحمها بعجين قاري المنشأ مشرَّب بكلوريت وسيديروز.

وتساهم بعض البقايا العظمية (فقاريات بحرية) في جعل هذه الخامات فوسفورية، مما كان يعتبر، لفترة طويلة من الزمن، عائقاً لاستعمالها.

وقد ذلّلت طرائق توماس، في أيامنا هذه، الصعوبة بل إنها أصبحت ميّزة، إذ أن الخبث المسمى خبث نزع الفوسفور مرغوب فيه جداً من قبل الزراعة وحتى أنه يضارب إلى حدّ ما فوسفات شمال افريقيا الطبيعي.

وقضية هذه الخامات الكبرى هي قضية منشأ الحديد. فالحديد بنظر كايّو يتأتّى من تهديم السلسلة الهيرسينية ومكامنها.

الفصل الرابع

الصخور البلورية المتورِّقة والاستحالة

Les Roches Cristallophylliennes et le Métamorphisme

هي صخور تحتل مكاناً عظيماً جداً في القشرة الأرضية ولها صفات وسيطة بين نوعي الصخور التي درسناها سابقاً. وبالواقع، فهي دائماً مبلورة جداً بالعين المجردة ومؤلّفة من فلزات أساسية (هي فلزات الصخور الغرانيتية) موجهة ومصفوفة على شكل نطاقات شريطية متيحة الفرصة لورقية أو تورق، مختلفة عن سطوح الانفصام الشيستي، ومن هنا كانت تسميتها بصخور بلّورية ورقية؛ أي مبلورة ومتورّقة. ونلاحظ أن هذا التورّق هو هنا المعادل لتطبق الصخور الرسوبية وهو لا يقارن مع الانفصام الشيستي الذي يكتسبه الغضار أو المارن ثانوياً إثر انضغاطات تكتونية، والذي يكون على العكس مائلاً على التطبق.

ويطلق على هذه الصخور أحياناً لفظة **شيست بلوري** أو، إذا استبقوا الى منشئها، لفظة **صخور استحالية**.

ويمكن أن يكون نسيج هذه الصخور حسب ثلاثة نماذج رئيسة: **حبيبية** كبنية الغرانيت مثلاً، **حبيبية برعمية granoblastique**، أي أن حبات الفلزات قد نمت فيها عن طريق التغذية، **وبويسيليتيه Poecilitique**، عندما يظهر المرو فيها بشكل حبات ضمن الصفاح.

ولقد سبق أن قلنا أن فلزات هذه الصخور هي فلزات الصخور الاندفاعية نفسها : مرو ، صفاح ، ميكا ، أمفيبول ، بيروكسين ، أوليفين ، (سربنتين) ، تورمالين ، غرينا (بجّادي) . ويكثر وجود الفلزات الآتية ، وهي غير أولية في الصخور الاندفاعية ، فيها : كلوريت ، طلق ، سيريسيت ، إيبيدوت ، زوئيسيت ، كالسيت ، سيديروز . وإن عدم وجود زجاج (دليل على أن هذه الصخور لم تصهر من قبل)[1] . وأنورتوز ، لوسيت ، نيفيلين ، هورنبلاند بازلتي ، هو من الأمور التي يجب ملاحظتها . وأخيراً فإن بعض فلزات يقال عنها فلزات الإستحالة ، تصبح نامية فيها بنوع خاص ، أندلوزيت ، سيلليمانيت ، كورديريت ، بجّادي ، وكذلك فيما يتعلق ببعض خامات (بيريت ، مانيتيت) . وينمو بعض هذه الفلزات بشكل أسرع من غيرها ، عن طريق نوع من الانتاش germination وهي **المتبرعمات البورفيرية Porphyroblastes** أو **المتبرعمات البارزة Phénoblastes** وهي المكافئة لبلورات الصخور الإندفاعية الظاهرة .

ومن بين الصخور الاستحالية ما هو شيست بلّوري حقيقي متميّز بوجود فلزات الغرانيت الرئيسة ، من مرو ، وصفاح ، وميكا . وحسبما تكون هذه الصخور صفّاحية أو بدون صفاح ، فالصخر يصبح غنايسياً أو ميكاشيستاً مع جميع تفرعاتهما . وهناك صخور غيرها لا تبدي تبلوراً واضحاً ولا تكشف عن بنيتها إلّا تحت عدسة المجهر ، إنها صخور الفيلّاد والصخور القرنية .

I ــ النماذج الرئيسة

الغنايس : الغنايس هو صخر حمضي تأخذ فيه الفلزات أوضاعاً طبقية الشكل ؛ فالنطاقات الفاتحة والمؤلفة جوهرياً من صفاح ومرو تتناوب فيه مع نطاقات سوداء ميكاوية . ويظهر المرو على شكل عدسات متطاولة ولا يقولب بقية العناصر ، كما

(١) ومع هذا ، فإن من الممكن أن يحدث فيها زجاج ثانوياً إثر عمل تكتوني . فالصخر يأخذ عندئذ إسم تاشيليت كاذب أو زائف . ويمكن للصاعقة أيضاً ، كما يحدث عند بقية الصخور السيليكاتية ، أن تنشر فيها موضعياً نطاقات زجاجية كوردة الصحراء .

هي الحال في الغرانيت ويبدو أنه تبلور في الوقت نفسه الذي تبلور فيه الصفاح. أما الميكا، فعلى العكس، فيجنح لقولبة بقية العناصر ولا يكون، بهذه الصفة، بمثابة المكافئ للميكا الغرانيتي (شكل ١١٩، I و II).

وهناك بعض الفلزات العرضية: بـجّـادي، سيلليمانـيت، كورديبريت، تورمالين، مانيتيت، أباتيت، سفين، أمفيبول، بيروكسين... إلخ، تساعد على تحديد أنواع الغنايس. وغالباً ما يكون صفاح الغنايس هو الأورتوز أو الميكروكلين، غير أنه يمكن أن يحتوي أيضاً على بلاجيوكلاز حمضي. وتوجد الميكا السوداء فيه لوحدها أو مترافقة مع الميكا البيضاء. أما صـفّـاح أنواع الغنايس ذي البيروكسين أو الأمفيبول فهو صفاح أساسي (بلاجيوكلاز).

ويطلق أحياناً اسم **كنزيجيت**، على غنايس بلاجيوكلازي غني بالمرو، يحوي بـجّـادي وردي، ويكثر وجوده في نطاق الشيست اللامع (ايطاليا).

أما أكثر الغنايس انتشاراً فهـو الغنـايس الحمضي، وبخاصة الأنـواع ذات البـّجادي، الكورديبريت أو السيلليمانيت. وقد يكون النسيج حبيبياً، أو حبيبياً متبرعماً أو بويسيليتياً. وبعض الأنواع ذات فلزات كبيرة من الصفـاح الأورتـوزي متطاولة لوزية الشكل وموجهة، تسمى **غنايس عيني gneiss oeillés** (شكل ١١٩، VI) وتـؤدي المبالغـة بهذه البنيـة إلى النـوع المسمـى بـ **غنـــايس غددي gneiss glanduleux**.

وهناك نوع ذو حبة ناعمة، فقير بالعناصر السوداء مع غلبة الصفاح، مشحون تقريباً بحبات وردية اللون من البـجّـادي هو **اللبتينيت**، وهو صخر شائع في الكتلة المركزية الفرنسية.

الميكاشيست: الميكاشيست هو شيست بلّوري متورق إلى أقصى حد، ومؤلف بصورة رئيسة من ميكا ومرو. تنوعاته كثيرة ومبنـيَّـة على وجود الفلزات التالية: موسكوفـيت، سيريسيت، بـجّـادي، تورمـالين، ستوروتيـــد، سيلليمانـــيت،

بيروكسين، أمفيبول. وتكون هذه الفلزات على الأغلب مجتمعة مع بعضها في الصخر ذاته.

ويدعى الميكاشيست الذي يشحن بالمرو كوارتزيتاً، ويشكل وجود الصفاح فيه ممراً إلى الغنايس.

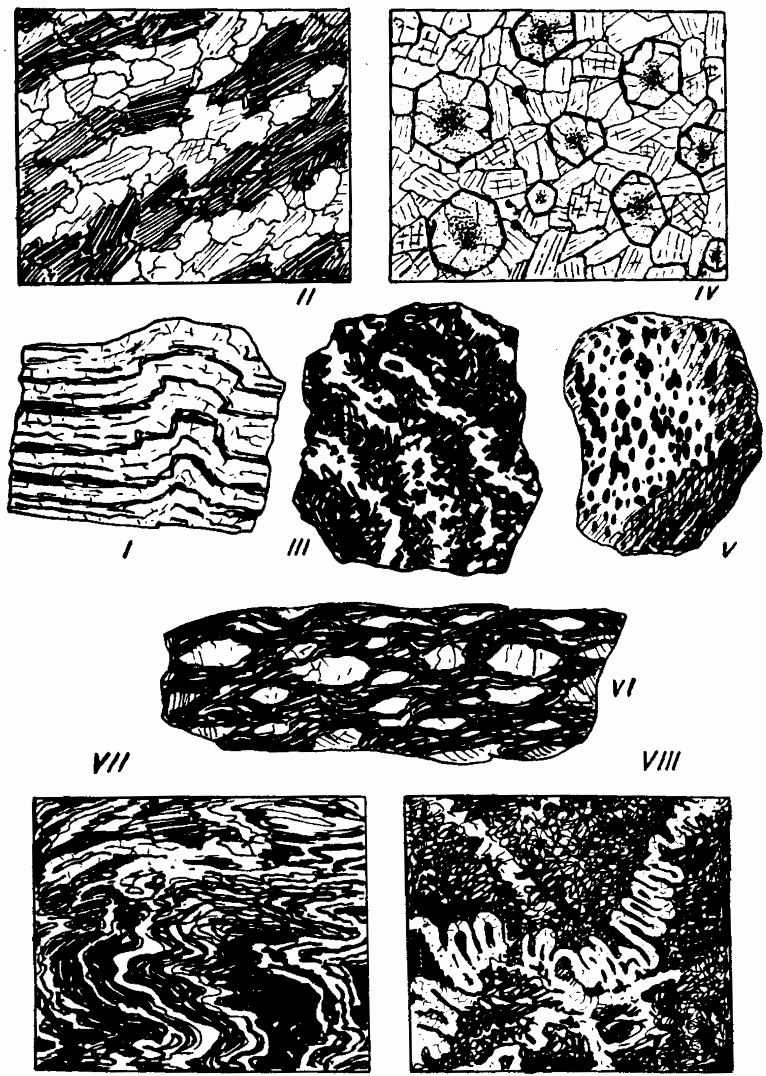
أمفيبوليت: هو شيست بلّوري يسيطر فيه الأمفيبول (هورنبلاند)، مجتمعاً إلى صفاح أساسي وإلى ميكا مع أو بدون مرو (شكل ١١٩، III). فهو إذاً من الصخور التي نمرّ بها إلى الغنايس أو إلى الميكاشيست. وبعض هذه الصخور متميِّز بوجود الإيبيدوت أو الزوئيسيت، أو بوجود الأمفيبول المعيني المستقيم (جدريت أو أنتوفيلليت) أو الصودي (غلوكوفان). وعندما يحتوي على البيروكسين فإنه يشكل ممراً إلى البيروكسينيت.

بيروكسينيت: الغنايس ذو البيروكسين الذي يفقد صفّاحه يصبح بيروكسينيت. إنه صخر حبيبي غالباً ما يحتوي على أمفيبول أو على بجّادي. وعندما يتشكل الصخر من تجمع بجّادي وبيروكسين صودي أخضر (أومفازيت) فإنه يأخذ إسم **إيكلوجيت** (شكل ١١٩، IV).

وهناك نوع مشهور من البيروكسينيت هو **الجاديئيت** أو **الكلوروميلانيت**، وهو صخر مظهره غنايسي وله بنية ألياف متشابكة، قاس جداً وقد استعمل من قبل إنسان ما قبل التاريخ لصنع أدواته الحجرية. وتوجد صخور بيروكسينية ذات أوليفين، تشكل صخوراً نمرّ بها إلى البريدوتيت إذا شحنت بالأوليفين. وهذه الصخور تتحوَّل، بالفساد، إلى سربنتين وفي هذا التحول على ما يبدو، منشأ معظم سربنتين الزمر البلورية المتورقة.

كلوريتوشيست: وهو شيست ذو كلوريت يحوي على قليل من المرو وأحياناً على ماغنيتيت، بجّادي وتورمالين.

سيريسيتوشيست: أو شيست ذو سيريسيت. يؤلف صخوراً فاتحة أو خضراء، له ملمس حريري وشائع في الزمر البلورية المتورقة.



شكل ١١٩ ـــ نماذج من الصخور البلورية المتورقة . I ، قطعة من الغنايس (تكبير طبيعي) : النطاقات السوداء هي الميكا ، والبيضاء الخليط مرو ـــ صفاح . II ، مقطع رقيق في غنايس . III ، مظهر جهري لأمفيبوليت من كتلة بيللدون الجبلية : النطاقات السوداء هي أمفيبول هورنبلاند ، البيضاء هي صفاح بلاجيوكلاز مع قليل من المرو أحياناً (غنايس أمفيبولي) . IV ، مقطع رقيق في إيكلوجيت : بلورات ضخمة من البجّادي مجتمعة بتشابك من بلورات بيروكسين أخضر (أومفازيت) . V ، شيست ملطّخ يعود للكامبري في الأطلس الأعلى الاستحالي (تكبير طبيعي) . VI ، شظية من غنايس عيني (تكبير طبيعي) . VII ، مظهر جهري لميغماتيت من فنلندا ، (التصغير ١/١٠) . VIII ، ميغماتيت (أرتيريت) من فنلندا ، حقنات الأبليت في الغنايس كثيرة الالتواء (حسب ج . ج سيدرهولم) (التصغير ١/١٠)

تالكشيست : صخر شيستي يكون الفيلليت فيه هو الطلق الذي غالباً ما يجتمع مع الكلوريت ، السربنتين ، الاكتينوت والماغنيتيت .

فيلّاد : هو صخر قليل التورّق البلوري ، غير أنه يكون لماعاً تقريباً ، ويمكن تعريفه على أنه سيريسيتوشيست ذي حبات ناعمة للغاية لا ترى بالعين المجردة . فنرى فيه بالمجهر إذاً المرو والسيريسيت مجتمعين إلى مادة غضارية . والفيلّاد المحمَّل بمواد عضوية يصبح **شيست ذا كربون « مكربن » Carburé** ، والغني منه بالأوتريليت يؤلف الشيست الحاوي على أوتريليت ، والمحمَّل بالسيريسيت والبجّادي مع بعض فلزات قاسية يؤلف حجر الشحذ أو كوتيكول أو نوفاكوليت ، ويستثمر في فييل ـــ سالم ببلجيكا .

صخور قرنية : صخور ذات نسيج كتلوي مؤلفة من فلزات مجهرية متشابكة ، غير موجهة أو مبتدئة بالتبرعم حول مراكز متباعدة . فيأخذ الصخر عندئذ مظهراً مبقّعاً على اعتبار أن كل بقعة صغيرة مؤلفة من كورديريت أو أندلوزيت (**شيست عقدي**) (شكل ١١٩ ، ٧) .

شيست لامع أو كالكشيست : صخر شيستي ، بلوري ، مؤلف من نطاقات رقيقة متناوبة من كالسيت ، مرو ومن تلبُّد ميكا بيضاء محمَّلة بإلمينيت وروتيل . وهذا الصخر شائع في مناطق الألب الداخلية ويميِّز منطقة البيمون أو منطقة الشيست اللامع .

سيبولان : صخر كلسي مؤلف برمته من بلورات كالسيت متشابكة ، مظهره شبيه بالسكر ، ومعظم الرخام الجميل (رخام كاراره الإيطالي ، رخام جزيرة باروس اليوناني ... إلخ) هو من السيبولان .

يحتوي السيبولان غالباً على فلزات ، ومن هنا جاءت تسميته رخام ذو فلزات . السيبولان المشحون ببجّادي هو **غريناتيت** .

كوارتزيت : سبق أن تكلمنا عن الكوارتزيت بمناسبة بحث الأحجار الرملية

(الحث) فالكوارتزيت هو بالواقع، حجر رملي مؤلف من مرو وحسْب، تغذّت فيه كل حبة بمجلوبات سيليسية ملأت جميع الفراغات. ونصادف أمثال هذه الصخور في الزمر البلورية المتورقة. وتكون بوضوح في هذه الزمر من أصل حطامي ومن جهة أخرى فإنها تكون مترافقة أحياناً مع صخور رصيصية (كونغلوميرا) حقيقية متصلبة.

معقدات بلورية متورّقة: تكون الصخور التي أتينا على وصفها بإيجاز في أغلب الأحيان متجمعة مع بعضها فتعطي ما يمكن أن نسميه معقدات أو زمر بلورية متورقة. وهكذا فقد توجد زمر بلورية متورقة حمضية مؤلفة من أدنى إلى أعلى من غنايس، ميكاشيست وفيلّاد؛ أي من صخور تقل استحالتها تدريجياً. وهذا التجمع ليس بثابت، غير أنه محقق غالباً حتى أن غنايس القاعدة، كثيراً ما يكون على صلة مع صخور غرانيتية ويبدو أنه يمرُّ إليها بشكل غير محسوس أو أنها تحقنه صفاً صفاً (ميغماتيت وغرانيت الانصهار الجزئي) (شكل ١١٩، VII و VIII). يمكن أن تتداخل في زمر كهذه صفوف من كلس بلوري من نموذج السيبولان، ويمكن للميكاشيست أن يمرّ بوفرة إلى شيست ذي سيريسيت أو كلوريت.

ويمكن أيضاً وجود زمر أساسية، متناظرة مع السابقات، تحتوي بكثرة على سربنتين (متأتٍّ من غابرو أو بريدوتيت)، بيروكسينيت، أمفيبوليت وغنايس ذي أمفيبول مع إيكلوجيت وسيبولان أو بدونهما.

إن زمراً بلورية متورقة كاملة كهذه قد تظهر في مناطق التصلُّب القديمة، ونجد منها في الكتلة المركزية الفرنسية، حيث تكون على صلة، في قاعدتها، مع غرانيت الانصهار الجزئي. لكن غالباً، وبخاصة في المناطق الملتوية بعنف، كجبال الألب، نرى بعض السافات قد تلاشت بترقيق الطبقة فتصبح المعقدات غير تامة. وفي أكثر الأحيان أيضاً، تنجم الزمر غير التامة ظاهرياً عن واقع إمكانية وجود الغنايس في جميع نطاقات الاستحالة [١].

---

(١) وتتميز عندئذ بطبيعة الصفاح (البيت) بالنسبة للابيغنايس (غنايس سطحي)، وبلاجيوكلازات تزداد أساسيتها مع العمق بالنسبة للغنايس الوسطي والعميق (Meso et cata). وبالنسبة للعنصر الملوَّن المرافق (كلوريت بالنسبة للابيغنايس، بيوتيت وهورنبلاند للميزوغنايس أمفيبول وبيروكسين عند الكاتاغنايس).

II ـ منشأ الصخور البلورية المتورقة

هي صخور تنجم عن تحول الصخور الموجودة من قبل بإحداث تجمعات فلزية جديدة أو بنى جديدة. ويمكن أن تحدث تحولات كهذه إما بفعل الحرارة واليحموم (استحالة)، أو بأفعال ميكانيكية (استحالة ديناميكية).

أ ـ استحالة ديناميكية Dynamométamor phisme

نشأت نظرية الاستحالة الديناميكية في ألمانيا إثر إشغال لوسّن، ثم ليهمان في تفسير منشأ الصخور البلورية المتورقة. وينجم تورّق هذه الصخور وإعادة تبلور العناصر عن الضغوط والحرارة المرتفعة المنتشرتين بالظاهرات المولّدة للجبال؛ أي الأوروجينية ويمكننا أن نميّز مع روزنبوخ **الأورتوغنايس** وهي صخور ناجمة عن ترقيق الغرانيت **والباراغنايس** وهي صخور مشتقة عن صخور رسوبية بالاستحالة الحرارية. ويمكن الأخذ بهذا التمييز لبعض الحالات، مع أنه في أغلب الأحيان، «الاستحالة الديناميكية تشوّه، لكنها لا تحوّل» (ب. ترمييه). على كل حال، فالاستحالة الديناميكية لا تأخذ بعين الاعتبار تورّق الصخور الاستحالية، المتطابق مع التطبق. فالاستحالة الديناميكية أتاحت الفرصة بشكل عام لصخور مجروشة بدون إعادة تبلور استحالية تظل فيه البنية التهشيمية Cataclastique مرئية. وقد استعملت لفظة **ميلونيت** للدلالة على أمثال هذه الصخور.

لقد عدّلت الدراسات الحديثة تعديلاً خفيفاً فكرتنا عن دور الاستحالة الديناميكية. وبالواقع يتوجّب علينا الإقرار بأن التشوهات الميكانيكية بنيْلها من صلابة الشبكات البلورية قد تسهل ظاهرات الانتشار، التي، وإن كان بإمكانها أن تحدث بحرارة مرتفعة بما فيه الكفاية وبمعزل عن كل تشوه، يجب أن تحصل بالتأكيد بسهولة، بحرارات منخفضة، بفعل «استحالة التخلع». وتستطيع نفحات وإيونات اليحموم الاستحالي الميغماتي عندها من إيجاد ممر لها بسهولة من خلال هذه الشبكات المشوّهة.

ب ــ الاستحالة

ولقد فرض مفهوم الاستحالة الحرارية نفسه تدريجياً بالتوازي مع المفهوم السابق. وينظر إليه اليوم كواقع ممكن الحدوث، هو كون معظم الصخور البلورية المتورقة، صخور رسوبية قديمة تحوَّلت بنوع من الطبخ العميق، تحت ضغط، مع مجلوبات من مواد أو بدون مجلوبات. وتبدو دراسة **الاستحالة بالتماس** أي التحولّات الحاصلة على الصخور المحتضنة من جراء احتلال باتوليت من الغرانيت مكانه وهي من هذه الناحية مفيدة للغاية. إنها هي التي تسمح بالإضافة إلى اعتبارات أخرى، تسمح باستشفاف **استحالة عامة عظيمة**، أصابت، خلال العصور، أسفل القشرة الرسوبية.

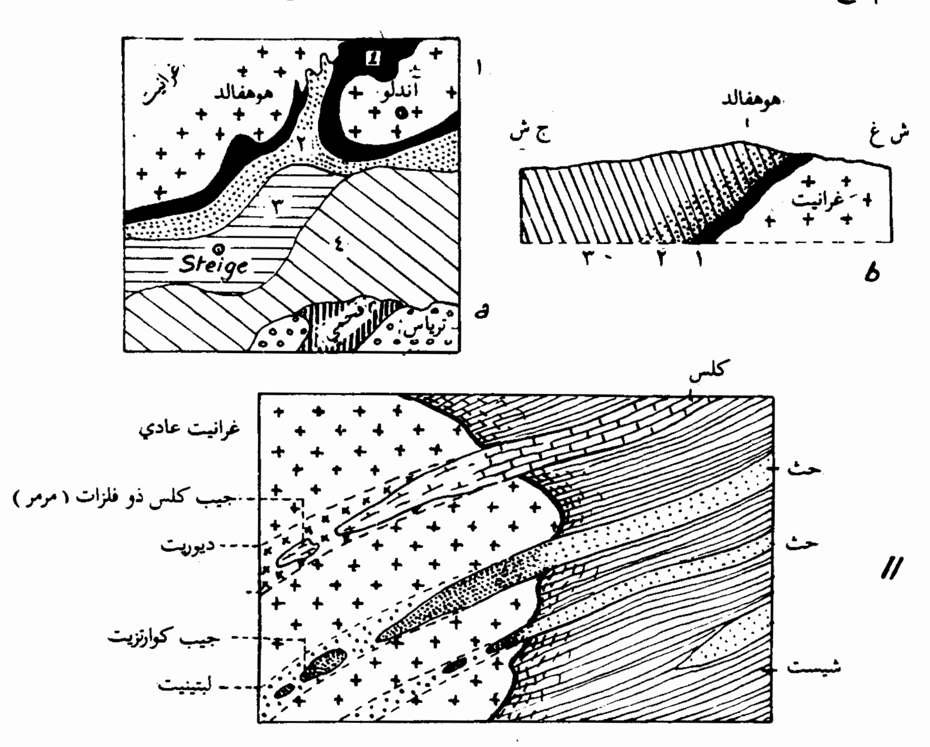
الاستحالة بالتماس: لقد شدَّدنا أعلاه بإسهاب على الطريقة التي يتمكن بها مهل ما، منصهر بالأصل، من الاندساس في القشرة والتصلب فيها. وإن ملاحظة نطاقات تماس الصخر الإندفاعي مع الصخور المغلِّفة له، أو الحاضنة تثبت بوضوح أن تحولات هذه الأخيرة كانت أحياناً عميقة وتظهر، أساسياً، بإعادة تجمع العناصر وتفرُّد فلزات جديدة. وتكون هذه التعديلات منوطة بحجم الصخر الدخيل وصفاته (استحالة خارجية)، وهي على صلة أيضاً بنوع الصخور التي اجتازها والتي منها يوجه التركيب الكيميائي التحوّل وحتى أنه يمكن أن ينعكس على طبيعة الصخر الإندفاعي (استحالة داخلية)[1]. ويمكن أن نلاحظ، حول الباتوليت، تتابعاً من هالات من الاستحالات تكون فيها التعديلات واضحة بقدر ماتكون الهالة أقرب إلى الصخر الإندفاعي.

ويمكن أن تتم هذه التحولات دون تبدل في التركيب الكيميائي، بتأثير الحرارة مع

---

(١) وهكذا فإن المهل عند تماسه مع صخر كلسي نقي تقريباً، يمكن، نتيجة صعوده وامتصاصه لهذه الصخور، أن يصبح أكثر أساسية، فيشحن مثلاً بأمفيبول ويصبح سيينيت أو ديوريت (انظر سابقاً ص١٥٩). وتكون مفاهيم الاستحالة هذه، من داخلية وخارجية، هي قديمة وتعود للجيولوجي فورنيه من مدينة ليون (١٨٤٧). انظر ب. لاباد ــ هارغ، **ملاحظات بمناسبة ظاهرات كيميائية، مرتبطة بالاستحالة** (محاضر أكاديمية العلوم بباريس، مجلد ٢٢٦ ص٦٨٥، ٢٣ شباط ١٩٤٨).

تداخل ممعدنات أو بدونه ، علماً بأن المعدنات قد لعبت ببساطة دور وسطاء أو أنها تتم مع مجلوبات عناصر جديدة أُدخلت في الصخور من قبل الممعدنات (غازية).



شكل ١٢٠ ــ استحالة بالتماس . I ، استحالة آندلو ، a ، خريطة جيولوجية ، مقطع روزنبوخ . ١ ، صخور قرنية ذات اندلوزيت . ٢ ، شيست ميكاوي عقدي وشيست غضاري مبقع . ٣ ، شيست من ستيج (أوردوفيسي) . ٤ ، شيست فيلليه (ما قبل الكامبري).

II ، استحالة بالتماس ، نموذج مونتان نوار ، بريتاني والبيرنيه . يمثل الخط الأسود عند تماس الغرانيت النطاق المتحول إلى صفاح ، والخطوط المتقطعة في الرسوبي تمثل هالات استحالة الشيست .

وهناك مثال مدرسي عن الحالة الأُولى نجده في استحالة الشيست الغضاري (شيست ستيج) ، وفي ناحية آندلو (ألزاس) (شكل ١٢٠ ، I) ، والمدروس من قبل روزنبوخ ، بتأثير غرانيت حرّ واضح .

واعتباراً من الشيست السليم ، يتم المرور تدريجياً إلى شيست ذي نطاقات غرافيتية وتجمعات ناعمة ، دون حواف واضحة ، من كورديريت وأندلوزيت . وهذه

الصخور الشيستية ذاتها تحصر هالة في الداخل تتجمع فيها هذه الفلزات لتعطي عقيدات صغيرة سوداء، تبرز على شبكة الشيست الرمادية (شيست عقدي). ويميِّز ظهور الميكابيوتيت هالة أكثر عمقاً إلى الداخل نتمكن اعتباراً منها من المرور بشكل لا شعوري إلى الصخور القرنية؛ أي في الحالة الخاصة، إلى صخر قاس هو خليط حبيبي ناعم من ميكا سوداء، أندلوزيت، كورندون، سيلليمانيت ومرو. وصخر القرنية هذا مرقوم مباشرة على غرانيت آندلو حسب سطح تماس واضح.

وتُظهر تحاليل النماذج ثباتاً واضحاً في التركيب الكيميائي لجميع هذه الصخور الاستحالية لآندلو التي لا تختلف فيما بينها إلّا بإعادة تجمعات ذرية.

غير أن الاستحالة التماسيّة يمكن أن تذهب إلى أبعد من ذلك، كما بينها ميشيل ليفي و آ. لاكروا، في دراسات أساسية تمّت بخاصة في جبال البيرينيه (شكل ١٢٠، II). وبالواقع فإن التماس في هذه المناطق، يحصل بين غرانيت وصخور كربوناتية وإن إعادة الطبخ تؤدي، عند وجود صخور كلسية نقية، إلى سيبولان أو رخام ذي فلزات (بخاصة بجادي غروسّولير)، وعندما تكون الصخور الكلسية سيليسية أو غضارية، تتحول إلى غريناتيت، وإيبيدوتيت (خليط من أورتوز وإيبيدوت)، ولصخور قرنية صفاحية. نلاحظ والحالة هذه أمراً هاماً، وهو تفرد نطاق حصلت فيه صيرورة صفاحية، مع أورتوز وبلاجيوكلاز، مما أدّى إلى حصول صخر يذكرنا بالغنايس. ويمكننا القول في هذه الحالة، أن تشكل الصفاح، إلى القرب من الغرانيت، قد حصل نتيجة ورودِ القلويات.

هناك صخور أخرى قابلة أيضاً للتحوّل بالاستحالة التماسية. وهكذا، فالأحجار الرملية تصبح كوارتزيت، غير أنه في الصخور الرصيصية، لا يتحوّل سوى الملاط في اتجاه تركيبه، وتتعرض الدولوميا للتفسخ وتعطي كربونات المغنيزيوم، بوجود السيليس والألومين، فلزات مغنيزية. وعلى العكس، فالصخور الإندفاعية تبقى نسبياً قليلة التأثر، إذ أن تراكيبها ناجمة من قبل، عن تدخل حرارة عالية.

ونضيف أخيراً إلى أن الاستحالة المحددة بتدفق صخر بركاني، لا تكون أبداً

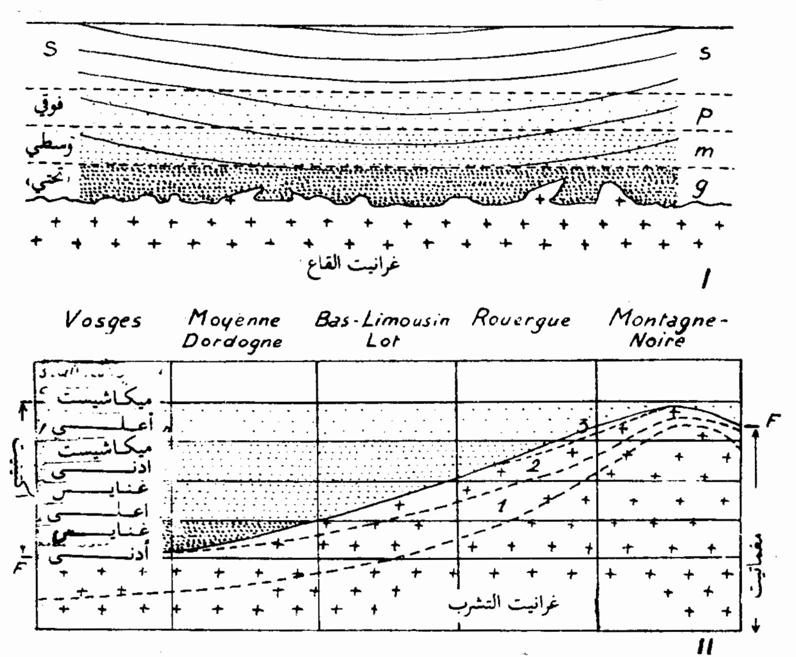
ذات أهمية، إذ أن الغازات بانطلاقها بحرية لم تعد موجودة فيه تحت ضغط. وكل ما في الأمر وما تمكنوا من التثبت منه هو تحوّل الحوّار موضعياً إلى مرمر بتأثير بازلت، وتحول انتراسيت العصر الكربوني داخل الألب إلى ما يشبه الغرافيت بتأثير ميكروديوريت ... إلخ.

الاستحالة العامة: لقد أتينا على وصف سلسلة من الصخور تُذكّرنا، ببعض ملامحها، بالصخور البلورية المتورّقة، التي لا شك أبداً في منشئها الاستحالي الذي نتج عن ملاحظة الوقائع. غير أن هذه التحولات لا تحصل إلّا على بضع عشرات أو بضع مئات من الأمتار، دون أن تعطي مطلقاً مجموعات قابلة للمقارنة مع الزمر البلورية المتورّقة الجبارة التي تصل سماكتها أحياناً إلى عدة آلاف الأمتار.

ومع هذا، فإن وجود بعض صخور، في هذه الزمر الأخيرة، كالسيبولان، والشيست الكربوني، والفيلّاد، وحتى أحياناً الصخور الرصيصية، يدفعنا **بادئ ذي بدء** إلى افتراض كونها رسوبات قديمة متحوّلة. ثم إن وجود مستحاثات (ثلاثيات الفصوص في غنايس النروج، غرابتوليتات فيلّاد كتلة المور Maures الجبلية، جذع شجرة من الكالاميت في غنايس الألب الداخلي، بيلمنيتات في الشيست اللامع)، من شأنه أن يثبت، من جهة أخرى، هذه الفرضية. وفكرة كون جميع هذه الصخور البلورية المتورّقة، بما فيه الشيست البلوري الحقيقي (غنايس، ميكاشيست ... إلخ)، متأتية من تحوّل زمر رسوبية باستحالة مطلقة أصبحت إقليمية، تفرض نفسها بلا محالة. غير أن هذه الصخور ليست دائماً على اتصال مع صخور غرانيتية يمكن اعتبارها المسبِّبة المباشرة للاستحالة، وعلينا في أغلب الأحيان، أن نعترف بأن الرسوبات القديمة أمكنها إعادة تبلورها على مساحات شاسعة وسماكات جسيمة بدون مداخلة الغرانيت الفعّالة، وذلك بفضل عمل اليحموم العميق (أعمدة ب. ترمييه الراشحة)، الذي جلب كميات كبيرة نوعاً ما من القلي المطلوبة لإنتاج الصفاح.

ويعتبر بعض الجيولوجيين، على أثر ب. ترمييه، أن الغرانيت هو أبعد من أن يكون المسبب للاستحالة العامة، بل هو بالأحرى نتيجة نهائية لهذه الاستحالة. فنرى

إذاً، أن بعض أنواع الغرانيت على الأقل، يمكن اعتبارها من منشأ سطحي نسبياً ومرتبط بالشيست البلّوري الذي يتم الانتقال إليه بشكل لا شعوري والذي يمثل حدّاً من تحوّل أقصى. وفي هذه الحالة فإن ضغطاً موجَّهاً قد تمخض عن مطّ في الاتجاه الأفقي (إجهاد **stress** بالنسبة للمؤلفين الانكليز والألمان) هو الذي لعب لصالح الشيست البلوري، والذي يُظهر شيستوية تبلور (تورّق)، والضغط الهيدروستاتيكي هو الذي تداخل على عمق أكبر في المهل الغرانيتي الذي أخذت بلّوراته أوضاعاً في جميع الاتجاهات. ويبدو من الناحية الفيزيائية، أن الانصهار كان من النموذج العجيني للصخور البلورية المتورقة، وكلياً للصخور الغرانيتية. غير أن الملاحظة لا تثبت هذه الفرضية بشكل كامل.



شكل ١٢١ ــ **استحالة إقليمية**. I، نطاقات التساوي في الاستحالة في قعر جيوسنكلينال (نظرية كلاسيكية). g، غنايس. m، ميكاشيست. p، فيلّاد. s، رسوبات غير استحالية. II، مخطط يمثل تحولات في ارتفاع جبهة الميغماتيت (FF) في الكتلة المركزية. ١، آناتكسيت. ٢، أمبريشيت. ٣، دياديزيت، مقابل لتحولات من ميغماتيتات يمكن تمييزها على الأرض: ميغماتيت مشرَّبة(١)، ميغماتيت ذوّابة (٢)، مخترقة (٣) كثافة المنقط تدل على تطابق تقريبي مع النطاقات، cata, meso. épi (خفيف سطحي، وسط، شديد) للمخطط البياني السابق. (م. روك).

وبالواقع، ومن وجهة النظر هذه، فقد انساق البتروغرافيون إلى التمييز بين زمرتين من الصخور البلورية المتورّقة، وهناك زمرة يمكننا تسميتها عادية أو مدرسية، مؤلّفة من صخور نموذجية جاء تعدادها أعلاه (غنايس، ميكاشيست، فيلّاد... إلخ)، التي لم يكن فيها الرفد الصفاحي ذا أهمية (**إكتينيت** بالنسبة لِـ ج. يونغ).

وهناك زمرة أخرى، تتنافر مباشرة مع السابقة من جراء تداخل حادث الغرنتة (التحول إلى غرانيت) أي إذاً نتيجة تداخل مجلوبات غازية هامة (**ميغماتيت**)، ومما سميناه غرانيت الانصهار الجزئي أو غرانيت التشرُّب (انظر ص ١٥٩).

ويمكن تمثيل العلاقات بين هاتين الزمرتين، فيما يتعلق بالكتلة المركزية الفرنسية بالمخطط التصويري (شكل ١٢١، II) المأخوذ عن ج. يونغ و م. روك[1] الذي يشير بوضوح إلى أن (جبهة الميغماتيت) يمكن أن تصعد إلى ارتفاع عال تقريباً في زمرة الاكتينيت التي هي في طريق التحوّل، وهذا الارتفاع الذي تبلغه يميّز نموذج الاستحالة لمنطقة ما. وجبهة الميغماتيت هي سطح مستو ومواز تقريباً إلى الشيستوية البلورية المتورّقة.

وتكون الميغماتيت مؤلفة فيها من لُحْمة (بنية شبكية) من الاكتينيت مشرَّبة **بانبعاث تمعدن** «إيشور **ichor**» مهلي صادر عن غرانيت أصلي عميق، يكون من الصعب تحديد منشئه، وتدل جميع المؤشرات على أن احتلاله مكانه معاصر لنهاية طور الاستحالة العامة التي شكلت الاكتينيت.

وبالاختصار، فإن الغرانيت الذي ينتج المغمتة migmatisation (التحول إلى ميغماتيت) يمارس على صخور سبق لها أن اكتسبت الحالة البلورية المتورّقة؛ فعمله إذاً مستقل تماماً عن الاستحالة العامة وأن المدلول الجيولوجي لصعود جبهة الميغماتيت يفوتنا كلياً.

---

(١) **نطاقات التساوي في الاستحالة في الأراضي البلورية المتورّقة للكتلة المركزية الفرنسية** (مجلة علوم طبيعية أوفرني، I، ١٩٣٦)، **ومدخل لدراسة الوصف النطاقي للتشكيلات البلورية المتورّقة** (مجلة مصلحة الخريطة الجيولوجية، فرنسا رقم ٢٣٥ مجلد ٢ ١٩٥٢).

ونجد أنفسنا هنا، كما قالها سيدرهولم[1]، رائد هذه الدراسات، تجاه ظاهرة عالمية يستحيل تقدير مداها، نشاهد فيها نقطة الوصول، غير أنه يستحيل علينا في الوقت الراهن تعيين نقطة الانطلاق.

ومن جهة ثانية، فإننا نلاحظ أن الظاهرات المولّدة للجبال قد جاءت لتشدّد على وضعية المشهد، وأن الالتواء، الذي كان يحدث بقدر ما كان يتقدم الحقن (غرانيت معاصر للتكتونية)، هو الذي أنقذ الشيست البلوري، في النهاية، من الاستحالة بنقله إلى نطاق سطحي حيث، وبفضل الحت، يمكننا الآن مشاهدته حتى في الصميم. ولكن بعد الالتواء، أمكن للباتوليتات الغرانيتية أن تتخذ مكاناً في موقعها وأن تصعد إلى أعلى بكثير، في نطاقات لم تصل إليها الاستحالة العامة، حيث أثارت استحالة مخففة جئنا على وصفها أعلاه تحت عبارة استحالة تماسية.

ويمكن إدماج قصة الشيست البلوري هذه بمفهوم آخر هو مفهوم **المقعر الجيولوجي** **géosynclinal** والاستحالة العامة هذه تصبح هنا استحالة مقعر جيولوجي (شكل ١٢١، I). وفي الواقع، لكي نفسر سماكات الزمر البلورية المتورقة، التي تكون هائلة غالباً، وشيستوية التبلور لهذه الصخور، في مثل هذا التوافق الكامل مع التطبق، نرى من الضروري الإقرار بأن الرسوبات الأصلية، وهي ذات سحنة بحرية هنا، عميقة بوجه عام وقليلة التنوع، قد تراكمت خلال زمن طويل جداً، في أحواض ترسب ضخمة كان قعرها يخفس بقدر ما كان يزداد التراكم، وأن الاستحالة العامة قد تمت قبل الالتواء، في الوقت الذي كانت فيه جميع هذه الطبقات موجهة حسب مستويات أفقية نوعاً ما.

إن غوصاً تدريجياً كهذا لا يمكن تفسيره إلّا بوجود نطاقات ضعيفة من القشرة الأرضية، نطاقات حسّاسة بوزن الرسوبات المتنضدة الهائل والتي كان هبوطها أيضاً متسارعاً بالانضغاط الجانبي لحواف الحفرة. وليس هذا الانضغاط، إجمالاً، إلّا بداية للقوى التي من شأنها أن تؤدي فيما بعد إلى نهضة فجائية لمحتوى الحفرة وبالتالي إلى

---

(١) J.J. Sederholm, Ueber die Entstehung der Migmatischen gesteine.
(Geol, Rundshau. Berlin. IV. 193. PP 174-185)

تشكل سلسلة جبلية بالتواء شامل. لقد أطلق دانا منذ عام ١٨٧٥ على التواء كهذا بشكل قعر المركب، وهو نوع من مقعَّر هائل، إسم مقعَّر جيولوجي، وسنرى أن المقعرات الجيولوجية الكبرى أمكن تشعيبها إلى مقعرات جيولوجية ثانوية بواسطة جعدات محدبات جيولوجية عملاقة لعبت دوراً هاماً في توزيع السحنات[١].

غير أننا نعلم بوجود تراكمات لرسوبات كهذه لم ترافقها تحوّلات بلورية متورقة. وهكذا فإن طبقات الحقب الأول للأبالاش، وسماكتها ١٣كم تكون متحولة بالكاد، ويمكن أن نقول الشيء نفسه فيما يتعلق بالفحمي في جبال الألب الداخلية (عدة آلاف الأمتار) وبالزمر الجوراسية ـــ الإيوسينية للأوراس في الجزائر والتي تبلغ سماكتها أكثر من ١٠كم بدون أن يظهر فيها أقل تحول استحالي[٢]. ومن الواجب إذاً الإقرار حتماً بأن وزن الرسوبات، إذا ما أثرناه كمسبب رئيسي للمط التماسي، وحتى لبعض ظاهرات الانحلال وإعادة التبلور، لا يكفي لوحده، لتفسير شيستوية التبلور المفرطة إلى حدّ كبير في الصخور البلورية المتورقة، وأن عوامل أخرى جاءت لتضافر أفعالها مع فعل الضغط. وهذه العوامل الأخرى لا يمكن أن تكون سوى الحرارة (درجة الحرارة الأرضية) والأبخرة اليحمومية (انظر سابقاً ص١٠٧) والتي ظهر أن قدرتها في التدخل كانت متزايدة تدريجياً مع العمق التي وصلت إليه وقتياً رسوبات المقعر الجيولوجي[٣].

---

(١) لنقل، منذ الآن بأن تفسير السلاسل الجبلية المسماة الجيوسنكلينالية والتي تؤلف جبال الألب أروع مثال لها يتم بحكم مثل هذه الطرائق. وإن بنية السلسلة وتوزع السحنات نجده بالواقع فيها منظماً بالانبثاق أو بغطسات سلسلة المحدبات الجيولوجية المركبة géanticlinales. وبالحقيقة، فإنه إذا كانت السحنات دائماً نيريتية (ضحلة) في النطاقات المتاخمة للجيوسنكلينال، وعميقة bathyauy في محور الحفرة نفسها، فإنها تعود لتصبح من جديد نيريتية وحتى مليئة بالثغرات على طول المحدبات الجيولوجية حسب وضع هذه الأخيرة بالنسبة لمستوى البحر القديم.

(٢) يُحتفظ لهذه الظاهرة التراكمية لطبقات ذات سحنات متماثلة وغير عميقة حكماً ومن عمر مختلف (**زمر ستراتيغرافية متماثلة ذات سماكات كبيرة « Compréhensives series »** لترمييه) في الحفر ذات القعر غير المستقر وبدون حدوث أية تحولات استحالية، يحتفظ بعبارة، خرجت حديثاً من النسيان، وهي لفظة **الانكباس** **Subsidence**.

(٣) ومن المقبول الآن، على أثر أبحاث فيجنر وآرغان، أن الجيوسنكلينال أو المقعر الجيولوجي ينطبق على نطاق يكون فيها السيال ممطوطاً بين كتلتين قاريتين عائمتين ومتحركتين على السيما. وأصبح، منذ ذلك الوقت، من السهل أن نفهم أن هذه المنطقة المرقّقة سيكون لها جنوح طبيعي لأن تغوص في السيما العجيني تحت تأثير وزن الرسوبات المتراكمة مع خضوعها تدريجياً لفعل الاستحالة الاقليمية.

وبما أن هذه الرسوبات هي بخاصة تشكيلات غضارية ــ مارنية عميقة حيث تكون فيها نسبة القلويات كافية لتبرير تحول متقدم بما فيه الكفاية إلى صفاح، كما أن زيادة الحرارة، التي تكون متضافرة مع ضغط المط ومع المجلوبات الغازية لم تتطلب جهداً لتحول الرسوبات شيئاً فشيئاً إلى غنايس في المناطق الأكثر عمقاً، بينما فيما يتعلق بتشكل الميكاشيست والفيلّاد، فإن الأعمال الديناميكية والحرارية هي وحدها التي كان عليها أن تتدخل.

وكان كل من هذه النطاقات مطابقاً، كما سبق ورأينا ص١٠٥، لشراط خاصة ولتفـرُّد زمر من فلزات ثابتة.

وعندما كانت الزمرة الرسوبية السائرة نحو التحـوّل مؤلفة من صخور كلسية، نقية تقريباً، كان بإمكان هذه الصخور إعطاء سيبولان أو أمفيبوليت، بينما كانت تتطور الصخور الرملية نحو صخور من نموذج الكوارتزيت أو الليبتينيت في نطاق التحـوّل الصفاحي الأعظمي[1].

وأخيراً، وفيما وراء هذه النطاقات التي يقـرّون بأن الانصهار فيها كان عجينياً (وبالنسبة لبعض المؤلفين، فإن هذه الانتقالات وهذه التحولات حصلت مع ذلك بحالة الصلابة)، فإن ارتفاع الحرارة الشاذ والتدخل الجسيم لليحموم المائي والممعدنات («الأعمدة الراشحة» حسب ب. ترمييه) أمكنهما تحقيق انصهـار كلي بفضل الضغط الهيدروستاتيكي، المتحقق نهائياً بتشابك البلورات والبنية الحبيبية للصخور الغرانيتية الناجمة عن تصلب أمثال هذا المهل.

وخلال التطور اللاحق للجيوسنكلينال، أثناء طور الالتواء الشامل، فإن أجزاءً من المهل المائع أمكن حقنها في القشرة إلى ارتفاع كاف على شكل باتوليت أو نتوءات

(١) نلاحظ منذ الآن أن نطاقات **التساوي في الاستحالة** هذه يمكن ألّا تتوافق دائماً مع نطاقات الستراتيغرافيا الكلاسيكية، وتقتصر دراسة الزمر البلورية المتورّقة غالباً على **دراسة النطاقات الاستحالية Zonéologie**، ولا يمكن تحديد العمر الدقيق لصخر استحالي إلّا ضمن شرائط خاصة سندرسها فيما بعد.

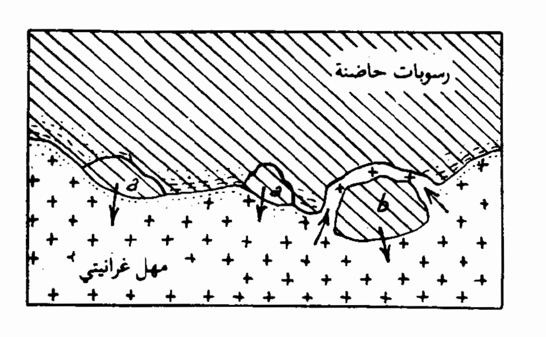
غرانيتية، وذلك حتى في الرسوبات السطحية للجيوسنكلينال، التي بتماسها مع الصخر الناري، طُبخت موضعياً بفعل الاستحالة بالتماس[1].

وهكذا نرى إذاً أن الاستحالة الجيوسنكلينالية لا تفسر تشكل الزمر البلورية المتورّة فحسب، بل إنها تساعد على تمييز غرانيت **أساسي**، نحو أسفل هذه الزمر، مسؤول عن عملية التحوّل إلى ميغماتيت، إذاً هو أحدث من الشيست البلوري (غنايس وميكاشيست يحقنهما)، وغرانيت أكثر حداثة جاء ليحدث إلى القرب من السطح أحياناً، تظاهرات من استحالة تماسية. وهذه الأنواع المختلفة من الغرانيت، هي التي تنكشف، بعد تدخل الحت، وهي تعرض شرائط تكمُّن غرانيت الانصهار الجزئي أو الكتل الباطنية المحددة تماماً بإطار مدوَّر والتي اجتازت كالمخرم التشكيلات المحيطة بها. وهذا يفسر، إضافة إلى ما تقدم، أن محور السلاسل الجبلية الكبيرة يتألف على الأغلب من صخور بلورية.

وتدل الآليّة التي جئنا على ذكرها عن تشكل الصخور البلورية ـــ المتورقة، وحتى الغرانيت، على أن هذه الصخور أمكن تشكلها في كل لحظة من تاريخ الأرض. فسيكون معنا إذاً شيست بلوري وغرانيت من أعمار متباينة، إذ أنه في غضون نشأة كل سلسلة جبلية، أمكن تحقيق شرط الجيوسنكلينال، مع كل نتائجه. ومن بين هذه الصخور، يوجد ما هي قديمة جداً (أركية كما تسمى وعمرها سابق للبريكامبري وما قبل الكامبري) ولها صلة مع السلاسل القديمة من هيرونية وكاليدونية، أو هيرسينية، كما توجد سلاسل حديثة جداً (تعود للحقب الثاني أو الثالث) يمكن إلحاقها بنشأة جبال الألب. أما الفكرة القديمة التي تقول بأن جميع هذه الصخور يمثل القشرة البدائية للكرة؛ أي الخبث النهائي للطور الكوني، فلا يمكن التمسك بها أبداً.

---

(١) في فرضية الجيوسنكلينال التي نشرها إي. هوغ E.Haug، ليس ضرورياً التسليم بـ «صعود» المهل الغرانيتي، كما يحصل ذلك أثناء احتلال الباتوليت موقعة أو نتوءات غرانيت الاستحالة التماسية. ومع هذا، وفي كلتا الحالتين، نرى المؤلفين الأنكلو سكسون يميلون لتفسير وجود الغرانيت بفرضية «**magmatic stopping**» (شكل ١٢٢) أو هبوط مهلي سبق أن تكلمنا عنه؛ أي أن الصخر الرسوبي يتفتت بملامسة المهل إلى شظايا غليظة تقع في هذا الأخير حيث «تُهضم». ويملأ المهل حالاً الفراغات التي تحصل على هذا النحو ليتدرج صاعداً نحو الأعلى.



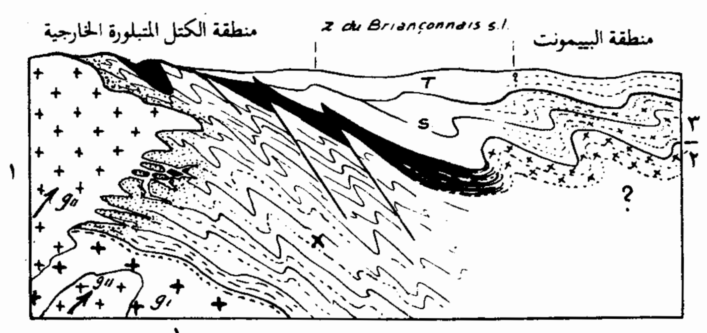
شكل ١٢٢ ـ رسم تخطيطي (magmatic stopping). وهنا يفتت الغرانيت، بحالة الانصهار، الرسوبات المغلفة له ويهضمها: a، جلاميد جاهزة للانفصال. b، شظايا وقعت في المهل. وتمثل النقاط المتقطعة، هالات الاستحالة.

وهكذا، إذا اقتصرنا على مثال السلسلة الألبية، نجد أنه أمكن أن تتوضح فيها ثلاث زمر بلّورية متورقة (شكل ١٢٣): فهناك زمرة أولى يمكن تسميتها زمرة قديمة، إذ أنها مشابهة لزمرة الركيزة في الكتلة المركزية أو في الأرموريك مثلاً، وإنها هي التي تؤلف الكتل البلورية الخارجية (آآر، القمة البيضاء، المسلات الحمر، بيللدون، غراند روس، بلفو ومركانتور)، وتشتمل على نماذج بلورية متورقة حمضية (غنايس، ميكاشيست، كلوريتوشيست وسيريسيتوشيست) وأساسية (أمفيبوليت، غنايس أمفيبولي، سيبولان... إلخ)، وتكون على صلة مع صخور كتلية، كالغرانيت، والغرانوليت، سيينيت[1]، غابرو وسربنتين. وتكون بعض أنواع الغرانيت وبخاصة بروتوجين القمة البيضاء، تكون محقونة في الشيست البلوري حيث تمخضت فيه عن استحالة تافهة، وغرانيت آخر كغرانيت بيللدون الحمضي يشرّب الصخور البلورية المتورقة الحاضنة ويسبب فيها غرنتة حقيقية granitisation. وقس على ذلك في ميركنتور حيث تكثر الصخور المغرنتة، غير أن تكشفات الغرانيت هنا نادرة جداً. ولم يمكن التثبت من عمر جميع هذه الصخور وكل مايمكن قوله هو أنها قديمة للغاية وسابقة للعصر الفحمي على الأقل، إذ أن الفحمي السليم والمؤرخ بدقة بنباتات مستحاثة يغطيها دون توافق، وأنها كانت بلورية وملتوية قبل توضع هذه الطبقات (طيات هيرسينية).

وهناك زمرة ثانية، هي زمرة الكتل البلورية الداخلية والتي تُشكّل، بخاصة في

(١) أو صخر أسوان.

أخرى، غنايس السرفان، القمة البيضاء، السن الأبيض... إلخ)[1]. وتنتقل هذه الزمرة تدريجياً إلى الفحمي وإلى البرمي السليم؛ أي غير المصاب بالاستحالة، ولهذا يطلق عليها أيضاً اسم برمي — فحمي. فهي إذاً أحدث من الزمرة السابقة ليس فقط من حيث عمر الصخور المتحوّلة، بل أيضاً من حيث عمر الاستحالة التي أصابتها والتي هي حتماً تالية للترياس. وتكون هذه الزمرة مستقلة تماماً عن السابقة (والتي تشكلت في جيوسنكلينال تابع للنموذج الهيرسيني) ونشأت في الجيوسنكلينال الألبي، بنفس الوقت، مع الزمرة اللاحقة تقريباً التي التوت معها في غضون الحركة الأوروجينية الألبية.



شكل ١٢٣ — **مخطط تمثيلي لثلاث زمر بلورية متورقة في جبال الألب**. ١، سابق للفحمي (أو هيرسيني). g، غرانيت القاع غير معروف هنا، g'' ، اندساسي أدّى إلى غرنتة صخور الشيست المتبلورة. ٢، زمرة برمو فحمية (كتل متبلورة داخلية مثال: فانواز). ٣، زمرة من الحقب الثاني والثالث (؟) (صخور شيست لامعة). ولقد نشأت زمرتا ٢ و ٣ في مناطق محورية من الجيوسنكلينال الألبي.

H، فحمي وبرمي. S، طبقات من الحقب الثاني. T، طبقات ثلاثية غير استحالية أو غير متحولة.

وتعود الزمرة الأخيرة الاستحالية الألبية بالواقع للحقب الثاني، وحتى الثالث، وهي زمرة الشيست اللامع. وتتألّف من مجموعات سميكة من الكالكشيست (الشيست الكلسي) مع سيريتوشيست مترافقة مع صخور إندساسية أي دخيلة غابرولية أو ديوريتية فسدت غالباً إلى سربنتين (**صخور خضراء** بالنسبة لجيولوجيي

(١) وعلى كل إذا تركنا جانباً معقّدات الفانواز، وجدنا أن هناك حالياً ميل للتسليم بأن الغالبية العظمى من هذه النوى البنيكية، في بريطانيا، تتألف من صخور متبلورة قديمة هيرسينية باستحالة راجعة **rétromorphosé** بعملية استحالية ألبية قليلة الشدة. ومن المعروف الآن أن نطاقاً قديماً درجة استحالته شديدة **Cata** حلّ في وقت متأخر في نطاق **فوقي epi** يتحول بصورة راجعة بظاهرة البَتّة صفّاحاته.

جبال الألب الفرنسية، غنايس وميكاشيست الفانواز وقمة بورّي (وفي مواضع الألب). وقد تم العثور فيها على مستحاثات ترياسية وجوراسية (بيلمينتات) وعندنا أسباب راسخة للتفكير بأن الكريتاسي، وقد يكون معه قسم كبير من الثالثي، ممثلان فيها، ودائماً بالسحنة ذاتها. لقد أطلق ب. ترمبيه اسم «زمر استراتيغرافية متماثلة وذات سماكات كبيرة séries compréhensives» على أمثال هذه المتتاليات الرتيبة من الأراضي. وعليه تكون الزمر الاستراتيغرافية والمتماثلة هي بجوهرها إذن جيوسنكلينالية وقَدَرها، في أغلب الأحيان، هو تكوين المواد الأصلية الممتازة للزمر البلورية المتورقة وللسلاسل الجبلية[1]!

ونضيف أخيراً، يساهم الادماج البطيء، ولكنه المستمر، لصخور سيليسية صلبة في القشرة الأرضية، في غضون تاريخ الأرض، في جعل هذه القشرة قَصِفَة أو سريعة الانكسار وذلك عن طريق انتزاع لدونتها. وعلى هذا المنوال تهرم الأرض بالتصلُّب وعن طريق إدخال مواد سيالية تدريجياً في القشرة الأرضيل (ستيل)[2].

(١) لا تزال قضية الاستحالة في الألب ليست موضحة تماماً بعد. وبالواقع، فإن بعض الملاحظات الحديثة لِـ ف. إيللنبرجيه في الفانواز تميل، فيما يتعلق بالشيست اللامع، إلى التخلي عن استحالة جيوسنكلينال (فرضية كلاسيكية)، لاستبدالها باستحالة لاحقة بالتكتونية، مارست عملها على «مقعر من الأغشية» خرجت من النطاقات الشرقية واندفعت على بلاد الفانواز.

ومن جهة أخرى فإن رينيه بيرّان ومارسيل روبو (**ملاحظات جديدة حول سريتين من الألب الفرنسية والجزائر**، منتدى دولي لعلم الصخور، نانسي، أيلول ١٩٥٥) يعودان، فيما يتعلق بمنشأ بعض من هذه الصخور، إلى الفرضية التي نشرها حديثاً م. لونغشامبون لتفسير تكوُّن ليرزوليت البيرينيه على الوجه التالي: استحالة سافات كلسية غضارية وسيليسية تقريباً عوضاً عن حقن من صخور بلوتونية عميقة أساسية تحولت فيما بعد بفساد سطحي استعاضي.

(٢) تميل الدراسات الآسيوية التي قام بها ب. تيلهارد دي شاردان، أيضاً لصالح تصلُّب القارات بالغرنتة **granitisation**.



الجزء الثاني

التوزع التأريخي والجغرافي لمواد القشرة الأرضية



لقد تعلمنا كيفية التعرف على المواد أو الصخور التي تدخل في تركيب القشرة الأرضية ، كلاً على حدة ، تقريباً . ويجب علينا الآن أن ندرس هذه المواد في مجموعها ، والتعرض لعلاقاتها المتبادلة ، وإلى توزعها الجغرافي .

ومن أجل ذلك ، سنلجأ إلى فرعين جيولوجيين جديدين من فروع الجيولوجيا هما : **الباليئونتولوجيا** أو علم المستحاثات الذي يدرس الكائنات التي عاشت قبل عصرنا والتي تختلف آثارها المستحاثة ، والمحفوظة في الصخور الرسوبية ، عن بعضها البعض حسب عمر هذه الرسوبات ، **والستراتيغرافيا** أو علم التطبق الذي يدرس نظام تعاقب الرسوبات ويستخدم المستحاثات لتنظيم تصنيف عام ، زمني ومكاني ، يكون ذا قيمة إقليمية بل وحتى عالمية .

وستقودنا هذه الدراسة في النهاية إلى استعادة تاريخ تبدلات كل من البحار والقارات خلال الأزمنة الجيولوجية ، أو بعبارة أخرى إلى التعرف على جغرافية العصور الخاليات أو الجغرافيا القديمة « **الباليئوجغرافيا** » .

الفصل الأول

الباليئونتولوجيا أو علم المستحاثات
(الأحفورات أو الأحافير)
الطرائق ، النتائج ، الفائدة

١ ــ تعاريف . لمحة تاريخية

إن الباليئونتولوجيا ، وهو علم جليل الفائدة بحد ذاته ، يقدم للجيولوجيين كذلك خدمات جلّى وبالواقع تساعد دراسة المستحاثات على تكميل دراسة الكائنات الحية لأنها تسد فراغات التصنيف . فالمستحاثات تساعد على تحديد عمر الطبقات التي تشتمل عليها (إذن فهي مداليات الجيولوجيا) ، كما تعطي معلومات عن شرائط التوضع (السحن faciès) وعن المناخات ، كما أنها تقدم ، بالأخير ، إثباتات جلية عن تطور هذه الكائنات حسب البيئات والأزمنة .

وسنعمد بعد تقديم لمحة تاريخية إلى دراسة كل وجهات النظر هذه .

إن علم الباليئونتولوجيا الذي قام على يد كوفييه Cuvier ، ومنحه العالم بلانفيل Blainville هذه التسمية ، هو العلم الذي ينصرف لدراسة الكائنات التي عاشت على

الأرض قبل العصر الحالي والتي تعرفنا عليها من بقاياها أو المستحاثات التي خلفتها في الصخور الرسوبية. إذن فهو علم الحيوان وعلم النبات الخاص بالأزمنة الغابرة، مما أدى إلى تقسيم طبيعي وتمييز بين علم المستحاثات الحيواني وبين علم المستحاثات النباتي.

ولما كان علم الباليئونتولوجيا علماً فتياً، فهو لم يأخذ شكله كعلم متآخذ إلا في مطلع القرن الماضي، بفعل الجهد الجبار والمبدع الذي قام به كوفييه، مؤسس علم التشريح المقارن، مما يفسر سبب تفوق علم المستحاثات الحيواني على علم المستحاثات النباتي. والعلم الأخير، وهو أيضاً علم نشأ في فرنسا، لم يتأسس إلا على أثر الأبحاث الرائعة التي قام بها آدولف بروينار عن النباتات المستحاثة، تلك الأبحاث التي استمرت من عام ١٨٢٢ إلى ١٨٢٨.

ولم يكن الناس ينظرون إلى المستحاثات خلال زمن طويل، وحتى القرن السابع عشر، حتى المستنيرين جداً منهم، إلّا بحسبانها إحدى غرائب الطبيعة، ولا تقدم بنظرهم إلّا أوجه تشابه عَرَضية مع الكائنات الحقيقية. لكن كان لدى بعض الرجال، منذ أقدم العصور، أفكاراً أكثر سلامة عنها ومن بين هؤلاء يجدر بنا أن نذكر: آناكسيماندر، فيثاغورث، أرسطو، كزينوفون، سترابون وهيرودوت من علماء العصور القديمة. ولدى بعض الرجال الحديثين نسبياً أمثال: ليونار دافنشي، وفراسكاتورو، وبرنار باليسي. وكان الأخير أي Palissy، «وهو فاخوري بسيط يجهل اللاتينية والإغريقية» قد استطاع أن يعارض أساتذة جامعة السوربون ليدعم فكرته القائلة بأن القواقع والأسماك المتحجرة التي نجدها في بعض الأراضي قد عاشت فعلاً في هذه الأمكنة في حين «أن الصخور لم تكن سوى الماء والوحل».

وابتداءً من القرن السابع عشر قَبِلَ رجال العلم والجمهور المثقف عامة، بطبيعة المستحاثات العضوية وأخذوا يهتمون بها ولكن بصفتها طرائف بسيطة: لأن ذاك العصر كان عصر مكاتب التاريخ الطبيعي.

ولكن مع ذلك كان هنا وهناك بعض المدقّقين الذين أخذوا ينصرفون إلى تصنيف ووصف هذه الأشياء ومهّدوا بذلك لوصول أكثر علماء الطبيعة شعبية في

فرنسا ألا وهو بوفون **Buffon**. وكانت موهبة بوفون هي أنه استطاع أن يعرض أخيراً، بلغة واضحة ورائعة، نظرية علمية حقاً عن الأرض وعن عصور الطبيعة، قائمة على شرح هذه «الأوابد العتيقة» التي هي المستحاثات. وهكذا أصبح الطريق مفتوحاً أمام أسباب التقدم الجديدة.

وفي الحقيقة، دخل علم المستحاثات في مرحلته الحاسمة، منذ فجر القرن الثامن عشر، لأنه لوحظ، بعد كثرة التقاط وجمع المستحاثات، على أنها تختلف حسب الطبقات، وأنه يمكن استخدامها كأساس لتصنيف تأريخي. وفي هذا الاتجاه جرت أبحاث و. سميث في انكلترا، واسكندر بروينار في فرنسا وبذلك ظهر للوجود **علم المستحاثات التطبقي**.

وأخيراً، في القرن التاسع عشر، برزت عبقرية كوفييه التي استطاع **علم المستحاثات الوصفي والمقارن** بوساطتها أن يخطو خطوات كبرى في هذا المضمار، وخاصة في مجال الفقاريات البائدة، مما يجعلنا نؤمن حقاً بأن كوفييه هو مؤسس هذا العلم. وفي الوقت نفسه حقق العالم لامارك نجاحاً مماثلاً بالنسبة إلى اللافقاريات المستحاثة التي كتب تاريخها بين عام ١٨١٢ و ١٨٢٢. ولكننا سنرى أن اسم لامارك لمع ببريق باهر في مجال فلسفة علم الحيوانية الوصفي.

وإلى جانب الأبحاث المنهاجية التي قام بها كوفييه والذين جاؤوا من بعده. ظهر، بالواقع اتجاه جديد يمكن أن نطلق عليه اسم **علم المستحاثات الفلسفي**. وأخذت مسألة أصل العالم الحي تتوضح وتنجلي كلما تقدمت دراسة المستحاثات. وإذا كانت هذه المسألة لم توضع على بساط البحث خلال سنوات عديدة، فذلك لأنه كان يعتقد أن الأنواع العديدة من الكائنات التي تعيش حالياً قد خلقت دفعة واحدة (نظرية الخلق créationnisme) وتثبتت في صفاتها (نظرية الثبوتية)؛ أي أن كل نموذج من الكائنات قد خُـلق منذ الأصل ليعيش في بيئته المعينة وظلت مسألة التواؤم مهملة. وعلى مثل هذه الأسس التي فرضها العالم لينه Linné توطدت عبقرية كوفييه الوثوقية والمستبدة. ولتفسير التحسينات التدريجية التي طرأت على الوحيشات، وفنائها وظهور نماذج جديدة بالكلية، وهي أمور ذات أهمية رئيسية لاحظها بنفسه خلال

أبحاثه، كان كوفييه يستند إلى ثورات عنيفة اعترت الكرة الأرضية، أدت إلى إفناء الكائنات، وإلى استعاضتها بكائنات جديدة بعد أن قامت هذه بهجرات بعيدة.

وقد وجدت أفكار كوفييه في شخص دوربينيي **D'Orbigny** العالم المتحمِّس اللاحق، وهو من أنصار نظرية ثبوت الأنواع وحتى نظرية فترات الخلق المتعاقبة. ولكن كان دوربيني أيضاً وصّافاً فريداً للمستحاثات، متعصباً لمفهوم التأريخ. ولكن لا نزال ندين له بتصنيف طبقات الحقب الثاني القائم على المستحاثات المميزة في هذه الطبقات والتي لا تزال تسمياتها حسب طوابقها مستعملة في أيامنا هذه دون تبديلات كبيرة.

ولكن ما أن ظهر لامارك، خصم كوفييه ومعاصره، ومنذ ظهور غودفروا سان هيلير، أهملت التفسيرات الثبوتية التي اعتبرت غير كافية كي تترك محلها لتفسيرات أخرى تعتبر أن الأنواع الحيوانية والنباتية، هي أبعد من أن تتصف بالاستقرار، الذي منحه إياها كوفييه، بل هي على العكس سائرة نحو تبديل مستديم وتتطور خلال الأزمنة وتتحور ظواهرها. ومن ذلك جاء اسم «التحولية» و «التطورية» الذي اتخذهُ هذا المذهب الجديد والذي أحدث ثورة في علوم الحياة.

وكانت «التحولية» تتواءم بصورة مناسبة مع الاكتشاف الباليئونتولوجية «المستحاثية»، ولكن نظراً لعرضها بشكل لا يزال غامضاً لم تستطع الصمود في وجه الهجمات العنيفة التي شنها عليها كوفييه فكان من اللازم انتظار عبقرية جديدة؛ أي عبقرية داروين، الذي تمكن من أن يجعل كل علماء الطبيعة تقريباً يقبلونها ويعتنقونها بصورة تكاد تكون جماعية.

وفي غضون هذه الفترة أخذت البراهين الباليئونتولوجية التي لا زالت النظرية التحولية تفتقر إليها حتى ذلك الوقت، تدعمها بصورة مغرية ودقيقة على يد آ. غودري **A.Gaudry**، مؤسس **الباليئونتولوجيا التاريخية** «علم المستحاثات»؛ أي أحد فروع الباليئونتولوجيا الذي ينصرف خاصة إلى تاريخ وإلى نسب الكائنات الحية في الزمان.

ومع أن «النظرية التحولية» قد أدت في أول الأمر إلى بعض المبالغات أو

المحاولات السابقة لأوانها، فإنها ساعدت على إنعاش وتنشيط علم المستحاثات، وقد أصبح علم التصنيف العام، وهو عبارة عن فهرس بارد وجاف أساساً لتصنيف طبيعي وشجرة نسب جبارة للكائنات الحالية والغابرة.

وإذا كانت المناقشات لم تتوقف بصدد آلية التطور العميقة (ومن وجهة النظر هذه هناك لاماركيون جدد، وداروينيون جدد، وأنصار نظرية الطفرة mutation[*]؛ أي حدوث تعديل فجائي ووراثي عند الكائنات الحية، مما يؤدي لنشوء عرق جديد، ووراثيون)[1]، ويتفق كل علماء المستحاثات مع علماء البيولوجيا على وجود هذا التطور ذاته الذي يعتبر، في أيامنا هذه، كأمر مفروغ منه والذي يجب أخذه بعين الاعتبار. وابتداءً من منتصف القرن التاسع عشر أصبحت كل أبحاث علماء المستحاثات تتخذ اتجاهاً تطورياً؛ أي أنها كانت دائماً تنهمك بعلاقات القربى بين الأشكال المستحاثة ومع الكائنات الحية إذا كان ذلك مستطاعاً، وفي هذا المعنى يمكن اعتبار مطول ك. آ. زيتل Zittel كجموع لكل معارفنا الباليئونتولوجية عند فجر القرن العشرين.

(★) أي حدوث تعديل فجائي ووراثي عند الكائنات الحية، مما يؤدي لنشوء عرق جديد.

(١) لنتذكر أن لامارك يعتقد أن الكائنات الحية تتحول بفضل جهود تبذلها للتواؤم مع الوسط الخارجي، مما يؤدي لنشوء عادات معينة، تؤدي بدورها إلى نمو الأعضاء الفعالة وضمور الأعضاء التي لا تستعمل، وكل هذه التعديلات تكون مندرجة في التراث الوراثي وبذلك تنقل إلى الاحفاد. وبعد أن استند داروين على تبدلات الحيوانات الأهلية والنباتات المزروعة وعلى اختلال التوازن القائم بين تزايد السكان وبين تزايد الأغذية توصل إلى القول بأن التبدلات الملائمة هي وحدها التي تستطيع البقاء خلال معركة الكفاح من أجل الحياة. ومنه جاءت فرضية عن الاصطفاء الطبيعي وعن التنافس الحيوي لتفسير استمرار بقاء الكائنات التي حصلت على تبدلات مفيدة وفناء الكائنات التي عجزت عن ذلك.

وحالياً هناك اتجاهات مرموقان لدى علماء المستحاثات. فالوراثيون الذين ينكرون مع فيسمان (الداروينية الجديدة) وراثة الصفات المكتسبة (فرضية لاماركيّة) لا يقبلون إلا التبدلات الإنباتية germinatives الموروثة مباشرة، لكن التبدلات الأخرى تؤدي إلى أن يصبح التطور حينئذ أعمى. واللاماركيون الجدد الذين يلحون على آراء لامارك يجعلون الوسط الخارجي مسؤولاً عن كل التبدلات ويذهبون إلى أن التحولات الجسدية الطارئة خلال التهيجات، والمستمرة من جيل إلى جيل، يمكنها أن تنتقل إلى خلايا الوراثة germen بالطريق الهرموني وتنطبع عليه نهائياً. ولكن الجميع متفقون على الطبيعة غير المتواصلة للتطور ووجود تبدلات فجائية أو طفرات حسب دو فريس (نظرية الطفرة).

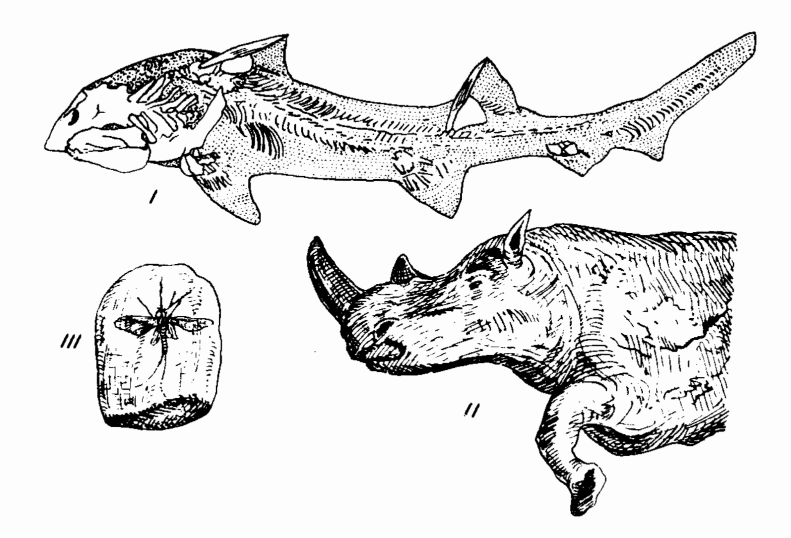
ولنضف إلى ما تقدم أن الفترة المعاصرة تتميز بالدقة التي أدخلت على التقاط ودراسة المستحاثات. كما أن الأبحاث المتعلقة بالبنية المجهرية للعضويات، وحتى دراسة الأشكال الصغيرة جداً مثل المنخربات، قد طرأ عليها تحسين كبير. (حتى لقد ظهر كلام عن علم مستحاثات مجهري، وهو علم يستطيع أن يقدم خدمات ستراتيغرافية مفيدة في حالة فقدان مستحاثات مرئية). كما أصبحت المعطيات الإيكولوجية الخاصة بالعلاقات القائمة بين الكائنات الحية وبيئاتها (البيولوجيا القديمة، أو الستراتيغرافيا الحياتية) موضع اهتمام مستمر من قبل علماء المستحاثات. ويمكن قول الشيء نفسه بالنسبة لفرع جديد من المعرفة هو الجغرافيا الحياتية، التي تستهدف تفسير التوزع الحالي للكائنات الحية استناداً إلى صروف طرأت على أجدادها المستحاثة، والذي يجد في هذه الدراسات سنداً غير منتظر.

٢ ــ ظاهرات الاستحاثة

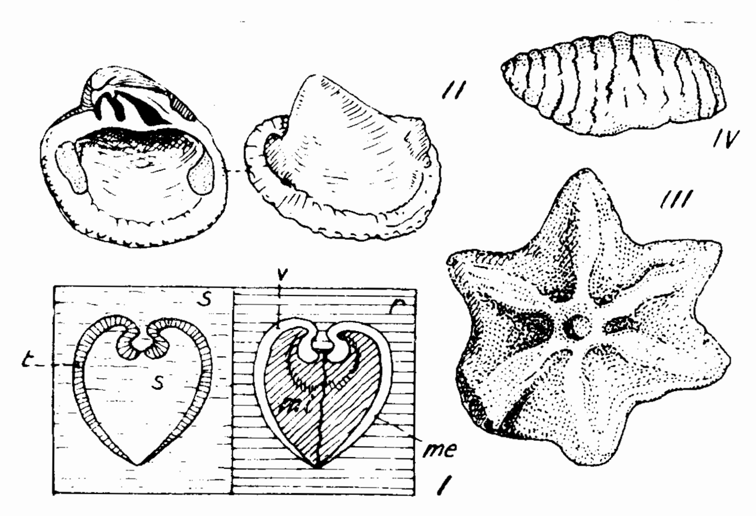
إن المستحاثات، التي هي عبارة عن آثار الكائنات التي عاشت قبل العصر الحالي، قد حفظت، حتى وصلت إلينا، بسيرورات الاستحاثة؛ أي بواسطة مجموعة من الأسباب الفيزيائية والكيميائية التي تدخلت بدءاً من موت الكائن المعين.

ومن النادر أن تتمكن الجثث أو بقايا الكائنات العضوية الأخرى من الاحتفاظ على سطح الأرض بكيانها لأنها لا تلبث أن تتلف فيه.

والشرط الأساسي للاستحاثة هو إذن الدفن بمعزل عن الهواء. ومن الطبيعي أن تكون الأجزاء القاسية من العضوية كالأجزاء العظمية، والدروع، والغلافات، والقواقع... إلخ، هي التي ستحفظ بسهولة كبيرة، ولكن قد يصدف أن تخلف الأقسام الرخوة أثرها على شكل مومياء (شكل ١٢٤) تقريباً، وفي هذه الحالة يكون المستحاث ذا قيمة جزيلة الفائدة لأنه سيعطى معلومات عن هيكل الكائن المختفي



شكل ١٢٤ ــ ظاهرات الاستحالة. I، مومياء Hybodus Hauffianus من اللياس الأعلى في منطقة هولزمادن (ورتمبرغ) (طوله ٢م). II، الكركدن القديم المحفوظ في شمع مستحاث (أوزوكيريت) في الطبقات الحاوية على البترول الثلاثية في غاليسيا الرومانية. III، حشرة Cronicus anomalus عالقة في صمغ راتنجي مستحاث (عنبر أوليغوسيني في المناطق البلطيقية).



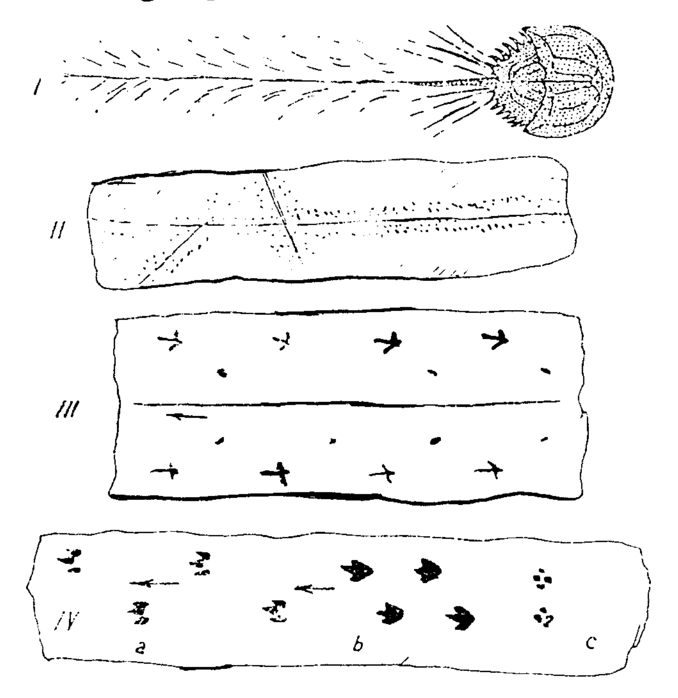
شكل ١٢٥ ــ ظاهرات الاستحالة (تابع) I، قالب داخلي (mi) وقالب خارجي (me). حرف t يشير إلى غلاف قوقعة مدفونة في راسب. s راسب تحول إلى صخر (r) وإن غلاف القوقعة قد ذاب، تاركاً فراغاً (v). III، قوقعة Cardita planicosta في لوتيسي حوض باريس مع قالبها الداخلي. III، قالب الفراغ المعدوي لميدوز (سينوني في ضواحي غرينوبل). IV، كوبروليت (براز مستحاث) لزاحف من الحقب الثاني.

(مثل مومياء الاكتيوصور ichthyosaures، وهو كلب بحر، من اللياس، والديناصوريات Dinosauriens الكريتاسية، ومومياء ضفادع فوسفوريت كيرسي).
وقد يصدف أن تحتفظ هذه الأقسام الرخوة ببنيتها الأصلية لدرجة يمكن عليها إجراء دراسة نُسُجية، وقد تحققت مثل هذه الحالات، وهي استثنائية طبعاً، بالنسبة لحيوانات من نوع الكركدن، محفوظة في الفحوم الهيدروجينية في الطبقات الثلاثية الحاوية على البترول في جبال الكربات، وعلى حشرات عنبر بحر البلطيق، وعلى حيوانات الماموت في الأراضي المتجمدة بشمال سيبيريا.

وطريقة الاستحاثة المألوفة هي **الترصيع incrustation** بواسطة التوضعات الكلسية التي تتركها بعض أنواع المياه. وقد يتم التوضع قرب ينبوع (طف) أو في حوض بحيري (ترافيرتان) حيث نجد كل العضويات الحيوانية والنباتية مغلفة بغطاء ناعم من فحمات الكلس التي تكسو أدق التفاصيل. وبما أن العضوية نفسها تتعرض بعدئذ للتلف فلا يبقى منها سوى **القالب الداخلي** أو **القالب الخارجي** (شكل ١٢٥). وبعد ذلك، قد تمتلئ هذه الفراغات بتوضوعات أخرى تجعلها قالباً طبيعياً لا يعطى عن العضوية المستحاثة سوى الملامح السطحية. غير أن عالم المستحاثات يستطيع أن يقوم بهذا العمل عندما يصب الجبصين أو الشمع في تجاويف قطعة طف أو ترافيرتان، ثم يعمد إلى حل العيِّنة المحقونة بواسطة حمض ما. وبهذه الطريقة أمكن إعادة تمثيل الحشرات والحيوانات، والثمار والأزهار، التي تعود إلى بضعة ملايين السنين، والموجودة في صخور الترافيرتان الإيوسينية لمنطقة سيزان Sézanne، قرب باريس. وبهذه الأساليب أي «تشكل» القوالب الطبيعية رُسمت وحُفظت آثار وجود الكائنات الحية، والدروب، وخدوش وآثار الخطوات، وقوالب التجاويف المَعدية للميدوزات، وكل الانطباعات التي تسمى فيزيولوجية والكثيرة التنوع، والتي نصادفها في الرسوبات (شكل ١٢٦ و ١٢٧).

ولكن، في أغلب الأحيان، تحصل استحاثة عضوية ما بطريقة أقل تهديماً، فتظل المادة الأصلية للمستحاث، ولكن تحل محلها تدريجياً، ذرّة فذرة، مادة مختلفة. وهذا يدعى أسلوب **التمعدن minéralisation**. وهكذا يمكن أن يحل السيليس محل

بعض المستحاثات الكسية (قوقعيات ـــ سيليسية)، أو كبريت الحديد (مستحاثات بيريتية) أو فوسفات الكلس، وقد تصبح بعض الغلافات السيليسية كلسية، أو غلوكونية، أو كلوريتية... إلخ. والأوبال، الذي هو عبارة عن سيليس عضوي، يُستحاث دائماً تقريباً على شكل كالسيدوان متبلور، وذلك عندما يحتفظ بطبيعته السيليسية. ويُذكر أن بعض المستحاثات قد تحولت إلى سيديروز (كربونات الحديد الطبيعية)، أو إلى جبس، أو باريتين، أو فليؤرين وحتى إلى فضة صافية.

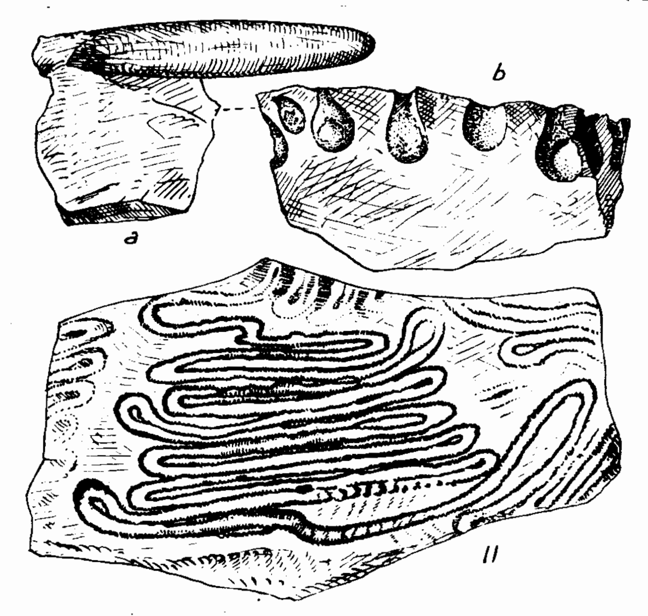


شكل ١٢٦ ـــ **الآثار الفيزيولوجية**. I، أثر نقّاب Limule في صخور الشيست الجوراسية بمنطقة سولنهوفن ($\frac{١}{٤}$)(عن ج. والتر) II، آثار ثلاثية الفصوص ($\frac{١}{٩}$)(عن ش. د. والكوت). III، آثار حيوان **compsognathus** (وهو زاحف قافز يستند على ذيله) في الجوراسي بمنطقة سولنهوفن ($\frac{١}{٣}$). IV، آثار حيوان اغوندة iguanodon (كريتاسي منطقة برنيسّار Bernissart). a في حالة العدو. b، في حالة المشي. c، في حالة الاستراحة (مصغر جداً) (عن دوللو).

وكثيراً ما تتحول النباتات وخاصة الجذوع وبعض الأغصان إلى سيليس، وهي مناسبة سعيدة سمحت أحياناً باحتفاظ الأنسجة بشكل مدهش. ومن وجهة النظر

هذه يمكن اعتبار الأشجار المتحجرة والمتحولة إلى كوارتز عقيقي في إريزونا بالولايات المتحدة، والجذوع الرائعة لأشجار فصيلة السيكاديه cycadées العتيقة ذات البنية المحفوظة في أسفل الكريتاسي في داكوتا، وماريلاند، وويومينغ كأمثلة يتردد ذكرها مراراً.

ولكن الغالب أن تستحاث النباتات بالتفحم أو التكربن carbonisation ؛ أي أن أنقاضها التي دفنت في وحل اللاغونات المستنقعية أو في وحل المصبات النهرية، قد تحولت تدريجياً إلى فحم بسبب إغنائها التدريجي بالكربون وانطلاق الأوكسجين والغازات الأخرى، وذلك بتأثير تفاعلات بيولوجية كيميائية ميكروبية، في أغلب الاحتمالات. وفي هذه الحالة تكون الأنقاض النباتية قد خضعت لمصير التكدسات النباتية ذاته والتي تحدث بمعزل عن الهواء والتي كان مصيرها الطبيعي هو التفحم (فحم حجري).



شكل ١٢٧ ــ آثار فيزيولوجية (تابع). I، ثقوب رخويات من آكلات الصخر من الزمن النموليتي. a، حشو ثقب بواسطة خبث نموليتي. b، سطح صخر كلسي سينوني مثقوب وممتلئ بحث (صخر رملي) نموليتي أو ليغوسيني (موقع كلومانك قرب Barrème). II، Helminthoidea labyrinthica في فليش جوزييه **Jausiers** (الألب السفلى)، وهي آثار معديّات الأرجل.

٣ ـ شروط تكمُّن gisement المستحاثات

يُعثر على المستحاثات في الصخور الرسوبية التي تميزها. فالمستحاثات التي اكتشفت في الصخور الشيستية المتبلورة تبرهن بكل بساطة، كما رأينا آنفاً، على أن هذه الصخور هي صخور رسوبية قديمة متحولة.

وتكون المستحاثات في الرسوبات المتراصة مطموسة المعالم وتستعصي على الاستخراج، لذا يجب فحص سطوح الصخر المكشوفة التي تنفصل عنها دائماً بعض أقسام من القواقع، وقد يمكن أحياناً رؤية عيِّنات مكشوفة جزئياً بواسطة الحت الجوي. أما في الرسوبات الطرية، كالصخور المارنية، والمارنية الكلسية، فإنه يكون من السهل استخراج المستحاثات، كما يمكن التقاط القواقع من الصخور الرملية مثل الفالون أو الرمال الثلاثية في حوض باريس، كما تلتقط القواقع من شاطئ رملي حالي، وهنا تكون المستحاثات محفوظة دائماً بشكل ممتاز، وأحياناً تحتفظ بألوانها الأصلية.

وقد تكون المستحاثات معزولة في الصخور أو مجتمعة. وقد يكون لهذه التجمعات أسباب بيولوجية وخاصة بالنسبة للعضويات التي تكون على شكل مستعمرات مثل البوليبات مثلاً أو الروديستات، التي تعيش على شكل أرصفة، مشتركة مع زمرة من النباتات أو الحيوانات المتعايشة. وهكذا يمكن مقارنة مثل هذه الوحدات البيولوجية، التي احتُفظت حتى أيامنا هذه، مع المستعمرات الحالية (البيولوجيا القديمة). وتؤلف أرصفة البوليبات المستحاثة هذه الصخور الكلسية الرصيفية، وتصبح سافات أصداف حيوانات المحار، أو القوقعيات الأخرى، صخور اللوماشيل... إلخ.

ولكن قد ينتج تكدس المستحاثات عن أسباب أخرى. ففي الواقع تؤدي التيارات البحرية أحياناً إلى تكدسات مماثلة بسبب عملية الانجرار البسيط (مثل صخور البريش الكاذبة ذات الأمونيات في التيتوني)، أو بسبب تبدلات فجائية في شروط البيئة، مما يؤدي إلى قتل جماعي يصيب العضويات التي جرفتها تيارات ذات

حرارة مختلفة جداً عن بيئتها (مثل الرسوبات ذات الأمونيات الفوسفاتية في طابق الألبياني Albien ، والفوسفات الحاوية على أنقاض الفقاريات في افريقيا الشمالية). كما يؤدي انبثاق روائح كريهة إلى إبادة أعداد كبيرة من الكائنات الحية (مثل طبقات هياكل الطيور في سان جيران لوبوي، في أوفيرني في أواسط فرنسا)، أو جريان مياه خانقة من ينابيع مجاورة إلى حوض مأهول بالحيوانات (مثل طبقات الأسماك في **صخر كوبرشيفر Kupferschiefer** في **البرمي** الألماني، أو طبقات الثلاثي في بوتو Puteaux بجوار باريس).

والنموذج المكمني الحاوي على المستحاثات والذي يجب أن نشير إليه هو النموذج الذي تحقق في بعض الكهوف أو التجاويف المحفورة في الصخور الكلسية بفعل المؤثرات الكارستية، والتي استطاعت مياه السيلان أن تكدس فيها الأنقاض العضوية السطحية مع البقايا الغضارية الناتجة عن التأكلس (انحلال الكلس)، تلك البقايا التي لعبت دوراً رئيسياً في حفظ هذه الآثار العضوية. وتنسب إلى هذه الحالة صخور البريش ذات الهياكل العظمية في الجيوب السيديروليتية الثلاثية (مثل: السيديروليتيك السويسري وفي جبال الجورا، وفوسفوريت كيرسي)، وكل الكهوف الحاوية على العظام في الحقب الرابع.

ولنشر أخيراً أيضاً، إلى أن المستحاثات تشغل أحياناً مركز العقيدات أو الكِلْيات التي هي عبارة عن تخثرات كلسية أو سيليسية (صوان) كثيرة في الصخور الرسوبية. وفي هذه الحالة نجد أن المستحاث قد لعب دور قطب جاذب بالنسبة لتوضع المادة المعدنية.

٤ ـــ علم المستحاثات وعلم التصنيف

يبدو عدد الحيوانات والنباتات المستحاثة الموصوفة ضخماً ويزداد مع توالي الأيام. ومن أجل تصنيفها يستخدم علماء المستحاثات طرائق وإطارات علم التصنيف

الحيواني والنباتي جاهدين، بادئ ذي بدء، في مقارنة الأشكال المستحاثة بالأشكال الحية. ولكن بدا لهم بسرعة أن هذه الإطارات كانت غير كافية وتحتاج إلى الإكمال، كما سنرى ذلك فيما بعد. وهناك صعوبة أخرى تعترضنا أحياناً وتنتج عن حالة التجزئة في المستحاثات وعن سوء حفظها. ومن المعروف أن كوفييه قد احتاط لذلك، وخاصة فيما يتعلق بالفقاريات، بأن أوجد علم التشريح المقارن وبتطبيق مبدئه المتعلق بترابط الأشكال.

وكما هو الأمر بالنسبة للكائنات الحية، تستعمل هنا عرفية nomenclature العالم لينّـه Linné اللاتينية والمزدوجة الإسم من أجل الدلالة على المستحاثات الموصوفة، فنجد إسم الجنس يتقدم اسم النوع (صفة)، ويكون هذان الاسمان متبوعين بإسم عالم النوع: مثلاً **Lucina multilamellosa** LAMARCK، أو DESHAYES **Pholadomya Ludensis**[1]. والنوع هو الوحدة الأساسية في العالم الحي.

ثم تتوزع الأنواع بعدئذ على مختلف زمر التصنيف: الفصائل، الرتب، الصفوف، الشعب[2]. وهكذا يكون التسلسل بالنسبة لدب الكهوف **(Ursus spelœus)** كما يلي:

كهف spelœus .... نـوع

دب Ursus .... جنـس

دبيات Ursidés .... فصيلـة

آكلات اللحم Carnivores .... رتبـة

ثدييات لبونات mammifères .... صـف

فقاريات Vertébrés .... شعبـة

---

(١) ويكون اسم العالم أو المكتشف غالباً مختصراً، فنكتب LMK بدلاً عن Lamarck و DESH بدلاً عن DESHAYES.

(٢) «إن كل نوع، ولو كان نسيج وحده بالعالم، يحمل في ذاته كل زمر التصنيف، لأن له مستوى بنية عام (شعبة) تحقق بطريقة ما (صف) ويحوي شكلاً خاصاً إلى حد ما (رتبة أو فصيلة). وبعض خصائص هامة في البنية (جنس)، وأخيراً بعض الملامح الخاصة في الحجم، وفي الزخرفة، والألوان (نوع)» عن (ل. آغاسيز).

وقد أمكن، في خلال عملية التصنيف هذه، ملاحظة أشياء مفيدة جداً:

١ً ــ توجد، بين المستحاثات، أشكال معدومة تماماً على سطح الأرض، مما استدعى توسيع نطاقات تصنيف الكائنات الحية. وإذا كانت كل أشكال المستحاثات تستطيع أن تندمج في التقسيمات الكبرى أو الشعب، فإنه، على العكس، وجب إيجاد بعض الصفوف وكثيراً من الرتب من أجلها.

وهكذا اقتضى الأمر وجود عدد كبير من الأنواع والأجناس المستحاثة فحسب.

٢ً ــ لقد أمكن التعرف، بين المستحاثات، على أشكال انتقالية بين بعض النماذج البنيوية وبين أشكال تحليلية تملك بعض الصفات المشتركة بين بضع مجموعات كبرى: مثل **ictidosauria** وهو زاحف صغير **Théromorphe** من الترياس، والذي يملك بعض خصائص الثدييات؛ **والسيموريا Seymouria** البرمي الذي يتأرجح بين الزواحف وبين الضفدعيات و **ichthyostega** من الديفوني الأعلى وهو حيوان انتقالي بين الضفدعيات والأسماك، و **Archœopteryx** من الجوراسي الأعلى الذي يسمح بإلحاق الزواحف بالطيور والـ Ptéridospermées أو «السرخسيات ذات البذور» التي تحتل مكاناً وسيطاً بين خفيات وظاهرات الإلقاح. وهكذا يكتمل التصنيف بفضل علم المستحاثات، وتسد الثغرات، بحيث أن هذا العلم الذي يظهر صلات القربى بين الفصائل والأنواع والأجناس يصبح حقاً علم أنساب وعلم أصول هذه الأنساب.

وقبل أن ننطلق لأبعد من ذلك يجب علينا أن نقدم الخطوط العريضة لقائمة الكائنات التي عاشت والتي لا تزال تعيش على سطح الأرض.

I ــ لمحة عن تصنيف الحيوانات الحالية والمستحاثة

I ــ الأوليات Protozoaires أو وحيدات الخلية

وهي الحيوانات التي يتألف جسمها من خلية وحيدة. وتتقسّم بالصورة التالية:

شعبة جذريات الأرجل Rhizopodes

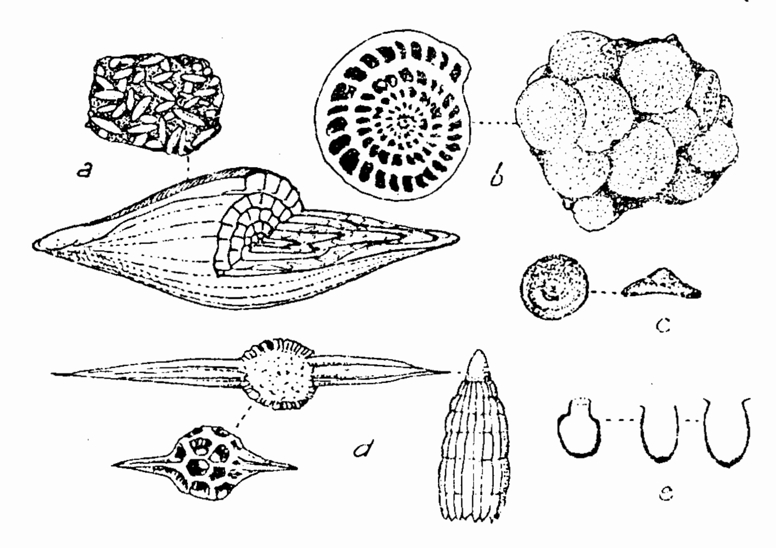
صف المنخريات Foraminifères : وهي عبارة عن جذريات الأرجل ذات غلاف كلسي، لها قوام الرمل أو قرنية، وكلها بحرية تقريباً. والأشكال الحية منها مجهرية وتتصل بالخارج بواسطة فتحة وحيدة (وحيدات الثقوب) أو ببضعة فتحات (المثقّبات). ونجد كثيراً من الأشكال الحالية في الرسوبات الجيولوجية، مثل الغلوبيجرين والروزالين (شكل ٩٩، V) التي هي عبارة عن كائنات بلانكتونية والميليول (شكل ٩٩، IV) التي تعيش بالأعماق. ولكن معظم الأشكال المستحاثة تكون ضخمة (شكل ١٢٨) (بضعة ميللمترات وأحياناً بضعة سنتيمترات) وقد بادت تماماً، وكلها تملك غلافاً معقداً، على شكل لولبي أو مقسوم إلى حجرات، ونذكر منها الشعيريات في البرمي — الفحمي، والأوربيتولين في الكريتاسي، وذوات النخاريب Alvéolines، والأوربيتوئيد والفلسيات في الحقب الثلاثي، التي لعبت دوراً هاماً في تشكيل الصخور بفضل غلافها الكلسي الثخين والتي استخدم كثير منها كمستحاثات مميزة.

صف الشعاعيات : ويكون الغلاف test هنا سيليسياً (أوبال)، وجميعها تكون مجهرية وتؤلف قسماً من البلانكتون البحري.

أما الهيكل، وهو رشيق ومتنوع، فيأخذ شكل كرة أو جرس مثقب مزدان أحياناً بأسنان أو بإبر (شكل ١٢٨، d). وتصادف الشعاعيات في بعض الصخور التي قد تتألف أحياناً، بكلّيتها، من أجسادها (صخور الراديولاريت) (شكل ٩٧، I).

صف النقعيات infusoires : وإذا كانت هذه تكثر في الطبيعة حالياً، فإنه يندر أن نجدها بين المستحاثات، بسبب طبيعتها الغشائية membraneuse. ولنذكر الكالبيونيل Calpionelles، وهي نقعيات صغيرة على شكل جرس وتكثر في السحن

الكلسية في البحار العميقة للجوراسي الأعلى (تيتوني) (شكل ٩٩، VI، وشكل ١٢٨، e).



شكل ١٢٨ ـــ وحيدات الخلية المستحاثة. a، صخر كلسي ذي شعيريات fusulines، وتحتها إحدى الشعيريات المكبرة والمرسومة بشكل مبسط يظهر تركيبها الداخلي. b، فلسيات (نموليت): صخر كلسي ذو نموليت (بالحجم الطبيعي) (حجر القروش)، ونموليتة مشطورة إلى اليسار. c، أوربيتولين مخروطي (حجم طبيعي). d، مختلف نماذج الشعاعيات المستحاثة. e، مقاطع من حيوان Calpionelles في الصخور.

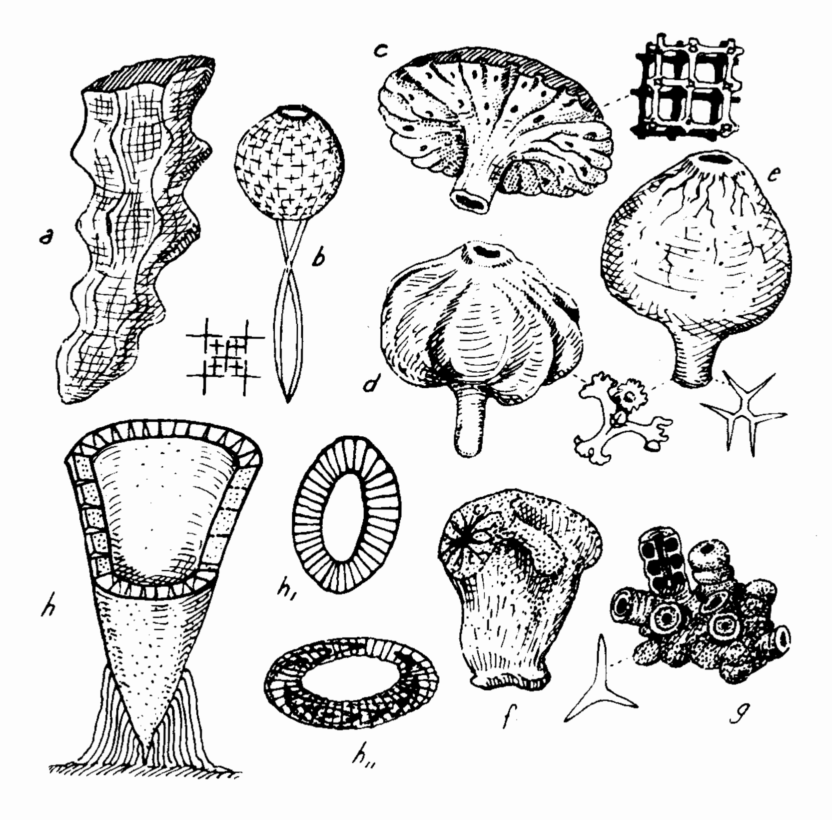
II ـــ الخلويّات أو العديدات الخلية Mètazoaires

وهذه حيوانات تتألف أجسامها من أعداد كبيرة من الخلايا المتمايزة. وتنقسم إلى بضع شعب، تكون ذاتها منقسمة إلى مجموعتين هما الحيوانات النباتية (تناظر مشعَّع) وحيوانات مفصلية (تناظر ثنائي الجانب).

شعبة الإسفنجيات

وهي أكثر العديدات الخلية بساطة، لأنها محرومة من الأنسجة العصبية

والعضلية . وجسمها عبارة عن كيس رخو ، مسامي ، وقد يكون مدعوماً بهيكل قرني ، كلسي أو سيليسي ومشكّل من أجزاء أولية مجهرية تسمى سبيكول spécules أو السنيبلات . وتكون معظم الإسفنجيات برية ، ولكن يعيش بعضها في الماء العذب .



شكل ١٢٩ ــ إسفنجيات مستحاثة . a ، **Hydnoceras** (Hexactinellide Lyssacine ديفوني) b ، **Protospongia** (Lyssacine الكامبري) . c ، **Cœloptychium** (Hexactinellide الكريتاسي الأعلى) . d ، **Hallirhoa** (Lithistide الكريتاسي الأعلى) . e ، **Siphonia** (Lithistide الكريتاسي الجديد) . f ، **Corynella** (إسفنج كلسي في الجوراسي الأعلى) . g ، **Barroisia** (sphinctozoaire الآبسي Aptien) . h ، بنية حيوان Archaeocyathide (**Coscinocyathus**) ، مقطع عرضاني لحيوان **Archaeocyathus** (h) ولحيوان **Coscinocyathus** (h) (كامبري) .

فالإسفنجيـــات الكلسيـــة والسيليسيـــة (Lithistides, Hexactinellides) (شكل ١٢٩) هي التـي ظلت محفوظـة في الرسوبـات لوحدهـا (سبونغوليـت) (شكل ٩٧) . وقد استطاعت الاسفنجيات السيليسية أن تشيد بالقديم طبقات

رصيفية حقيقية . وقد بادت بعض صفوفها مثل sphinctozoaire ، و Pharétrones و Archaeocyathidés (كامبري) .

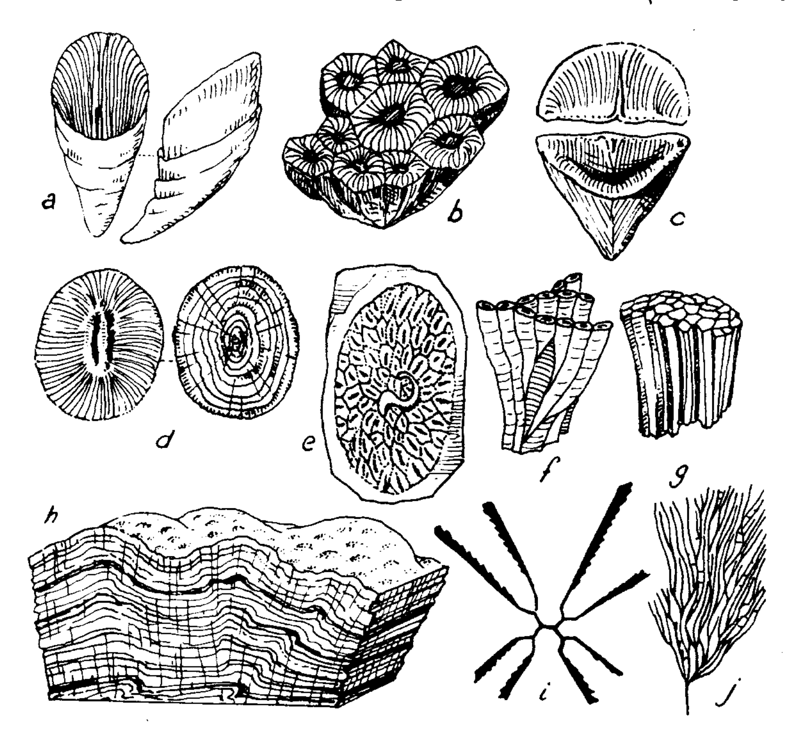
شعبة معائيات الجوف Cœlentérés

وهي عبارة عن عديدات خلية بسيطة جداً ، مجهزة بتجويف وحيد ، ولكن تظهر عندها خلايا عصبية وعضلية . ويكون تناظرها مشعّعاً بشكل صريح ويملك معظمها هيكلاً كلسياً . وبما أنها جميعاً بحرية وثابتة ، فالكثير منها يعيش على شكل مستعمرات (بوليبات Polypiers رصيفية) وتصادف حالياً في المناطق الحارة (شكل ١٣٠) .

صف المرجانيات (أو الحيوانات الزهرية) : وهي أشكال مثبتة دائماً (أشكال بوليب) ، وأكثرها يمتلك هيكلاً كلسياً ، مما سهل استحاثتها . وتنقسم إلى ثلاث رتب : الزهريات Zoanthaires ، السيوناريا Alcyonaires ، المائديات Tabulés . وتشتمل رتبة الزهريات على المرجانيات السداسية (من الحقب الثاني والحالية) والمرجانيات الرباعية Tétracoralliaires ، وهذه تنحصر بالحقب الأول فقط ، شأن المائديات Tabulés . وتكون هذه على الخصوص العضويات البناءة للطبقات الصخرية .

صف الهيدريّات Hydrozoaires (أو Hydroméduses) : وتظهر على شكلين متتابعين (جيلين متناوبين) : الشكل المثبت (بوليب) والشكل الحر (ميدوز) ، ويميز فيها رتب المرجانيات المائية ، والمائدية ، وفصيلة stromato poroïdés والغرابتوليت ، والفصيلتين الأخيرتين قد بادتا تماماً . وهناك ستروماتوبور stromatopore واحدة هيدرية Hydrozoaire واحدة ذات هيكل قشري المظهر يتألف من طبقات كلسية رقيقة متكدسة . إنها إذن عبارة عن عضويات مثبتة شكلت أرصفة في الحقب الأول . غير أن الغرابتوليت تكون أحياناً طليقة ، وأحياناً أخرى على شكل مستعمرات ، ولكنها دائماً تعيش في البحر العميق . وتكون عبارة عن أغصان ضعيفة الترابط مسنّنة ، معزولة ، أو

متجمعة حول جسم عائم يرجّح أن طبيعته درّعية Chitineuse. وتكون على الغالب سيلورية وتستخدم كثيراً كمستحاثات مميزة [1].



شكل ١٣٠ ـــ **معائيات جوف مستحاثة**. فصيلة tétracoralliaires المرجانيات الرباعية : a ، **Zaphrentis** . b ، **Lonsdaleia** . c ، **Calceola sandalina** من الديفوني الأوسط. فصيلة المرجانيات السداسية Hexacoralliaires . d ، **Cyclolites elliptica** من الكريتاسي الأعلى. فصيلة المائدية Tabulés : e ، **Pleurodictyum Problematicum** من الديفوني. f ، **Halysites** هاليزيت. g ، **Favosites** فافوزيت. فصيلة Stromatoporoïdés . h ، **Actinostromaria** من السينوماني في منطقة Charentes من فصيلة غرابتوليت Graptolithes . i ، **Dichograptus** من السيلوري. j ، **Dictyonema** من السيلوري (غربتوليت شجري).

صف المدوسات (أو قُراصيات Acalèphes) : وهي عبارة عن مدوسات

---

(١) يعتقد بعض المؤلفين أن الغرابتوليت هي عضويات تنتسب إلى جناحيات المصراعين؛ أي من شعبة حبليات الظهر Procordés غير أن بيرجيه بوهلان عاد مؤخراً إلى الرأي القائل بأن الغرابتوليت كانت عبارة عن جوفمعويات من نمط خاص جداً (المجلة الجيولوجية. معهد جامعة أوبسالا، مجلد ٣٤، ١٩٤٩ ـــ ١٩٥٣، ص١٠٧).

كبيرة طليقة. ويعرف عنها بعض الآثار في الرسوبات، وتكون دائماً عبارة عن قوالب التجاويف المعدية.

شعبة شوكيات الجلد

وتكون هذه أيضاً أكثر تعقيداً من الكائنات الآنفة الذكر، لأنها مجهزة بأعضاء عديدة متمايزة، مرصوفة حسب تناظر خماسي الشعاع Pentaradiée، وبجهاز جرياني مائي خاص وبمنظومة قنابية ambulacraire للإنتقال. وجلها حيوانات بحرية، وكثير منها يملك هيكلاً كلسياً جلدياً مؤلفاً من قطع ملتحمة تتكسر، خاصة عند المستحاثات، حسب مستويات انفصام الكالسيت. وقد كانت منتشرة جداً في البحار القديمة ودراستها مفيدة من وجهات نظر ثلاث: باليئونتولوجية، وستراتيغرافية وليتولوجية (شكل ١٣١).

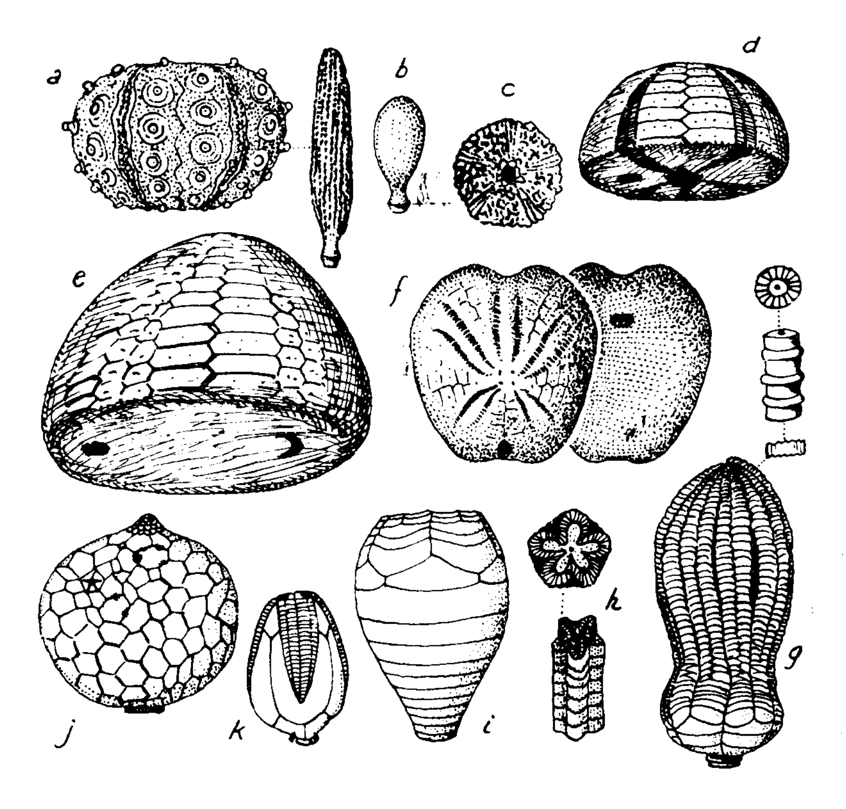
صف القنفذيات Echinides: وهي عبارة عن قنفذيات البحر Oursins. وغلافها مؤلف من قطع كلسية مرتصفة على شكل صفوف منتظمة ومحفوظة بشكل جيد فريد بعد استحاثتها. وتكثر في كل الطبقات الصخرية ويمكن تقسيمها إلى قنفذيات قديمة (قنافذ بحرية من الحقب الأول، بائدة)، ومنتظمة، وغير منتظمة.

صف الزنبقانيات crinoïdes: وتدعى أيضاً زنابق البحر، لأنها تتألف من كأس، مجهز بذراعين، مثبتة بالأرض بواسطة ساق يتفاوت في طوله.

وقد كانت كثيرة الانتشار بالماضي، منذ الحقب الأول، وقد تضاءلت حالياً إلى بضعة أشكال. وأنقاضها خاصة، هي التي تدخل في تركيب الكلس ذو الأنتروك entroques.

صف النجوميات أو الكوكبيات: وهي عبارة عن نجوم البحر، وتشتمل على

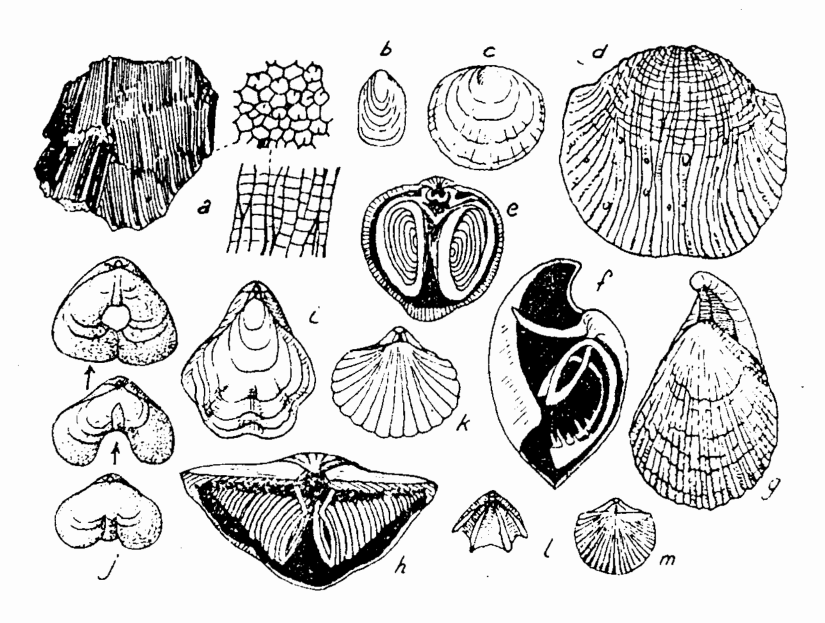
رتبتين هما النجميات Astérides وأفعويات الأذناب Ophiurides أو نجوم البحر ذات القرص المركزي ، وكلاهما متمثلين في الرسوبات .



شكل ١٣١ ــ **شوكيات الجلد المستحاثة**. قنفديات البحر oursins : a ، Cidaris florigemma مع واخز (كيمبريدجي) . b ، cidaris glandifera (واخز) (بورتلاندي) . c ، Glypticus hieroglyphicus (سيكواني) . d ، Discoidea cylindria (البيان أعلى) . e ، Ananchytes ovata (سينوني) . f ، Toxaster amplus (هوتريفي) . أشباه الزنبق أو الزنبقانيات : g ، Encrinus liliiformis (ترياس أوسط) . h ، Pentacrinus اللياس i ، Apiocrinus الجوراسي الأوسط . فصيلة المثانيات cystidés . j ، Echino sphaerites (سيلوري) . برعمانيات Blastoïdes . k ، Pentremites (كلس كاربونيفير) .

صف قثائيات البحر : وهي خيارات أو خيار مخلل البحر ، هي عبارة عن جيوب كبيرة رخوة ولحمية لا تحتوي إلّا على شوكات spicules كلسية مبعثرة . وهذه الشوكات هي التي استطاعت أن تتّضح في الرسوبات .

صف المثانيات Cystidès : تعود الحيوانات التي تمثل هذا الصف البائد تعود حصراً للحقب الأول. ويتألف جسمها من قطع كلسية خماسية الأضلاع مرصوفة على العموم بدون نظام، ويكون المجموع كروياً أو غير متناظر وقد يكون مدعوماً بساق. وقد شكّلت أنقاضها الصخور الكلسية ذات المثانيات.



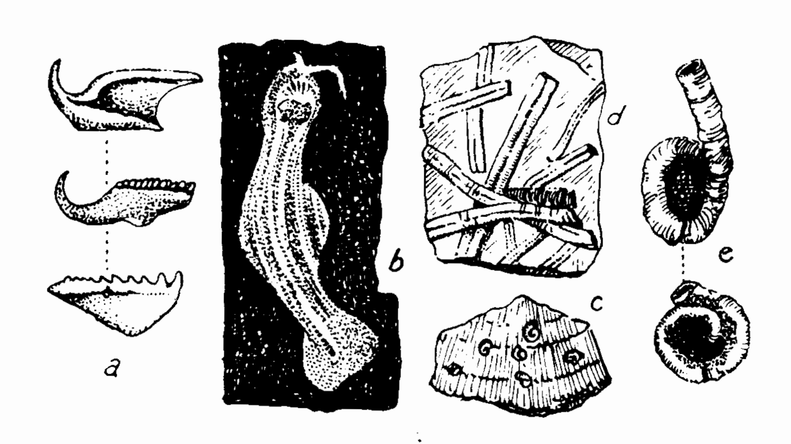
شكل ١٣٢ ــ **عضديات الأرجل المستحاثة**. حزازيات حيوانية: a، **Chaetetes radians** (ديناتي)، منظر خارجي ومقطعين. عضديات القدم. b، **Lingula Lewisii** (سيلوري). c، **obulus oppolinis** (كامبري). d، **Productus semireticulatus** (فيزي Viséen). e، **Atrypa reticularis** (ديفوني أوسط). داخل مصراع ظهري. f، **Stringocephalus burtini** (جيفيتــــي). g، **Uncites gryphus** (جيفيتــــي). h، **Spirifer striatus** (Dinantien). i، **Terebratula phillipsi** (باجوسيان). j، **Pygope diphyoides** صغيرة وبالغة (كريتاسي أسفل). k، **Rhynchonella quadriplicata** (جوراسي أوسط). l، **Tetractinella trigonella** (ترياس أوسط). m، **Orthis calligramma** (سيلوري).

صف البرعمانيات Blastoïdés : وهي أيضاً بائدة ومن الحقب الأول. ولكن يكون الجسم هنا مؤلفاً من قطع كلسية مرصوفة بشكل منتظم جداً على شكل دوائر متتابعة والمجموع يشابه برعم زهرة.

شعبة المونوميريدات Monomèrides

وتمثلها الدولابيات أو الدوارات rotifères (التي لم تترك أثراً في الرسوبات) والحزازيات الحيوانية bryozoaires.

صف الحزازيات الحيوانية: وهي عضويات، تعيش بمستعمرات، كثيرة التبرعمات، مؤلفة من مجموعة بوليبات صغيرة متخصصة وجميعها، تقريباً، بحرية ومجهزة بهيكل دُرّعي مرصع بكلس. وهي متثبتة. وعند الكائنات الحية منها يعوم طوق أنبوبي مؤلف من استطالات صغيرة من جوف البوليب، وحسبما يكون الأنبوب الهضمي منتهياً في مركز هذا الطوق أو خارجه، يميز شكلان يدعيان: الشرجي



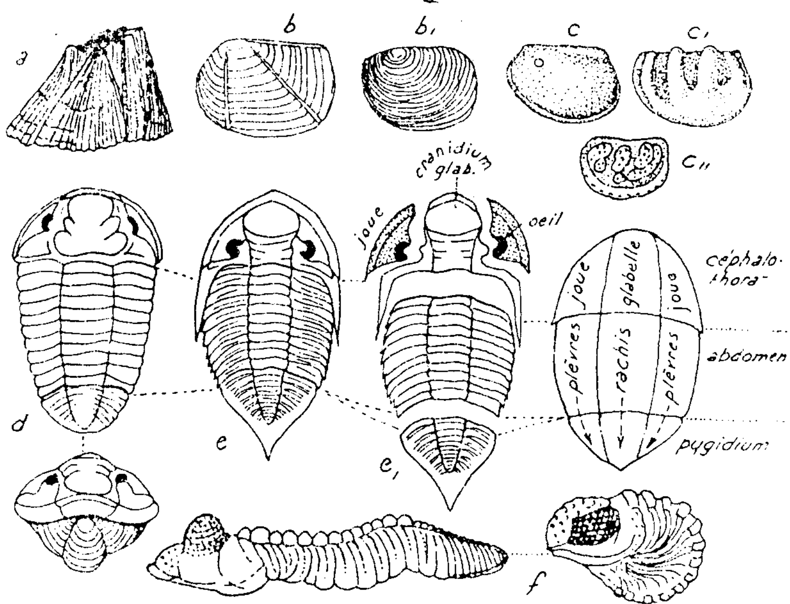
شكل ١٣٣ ــ **ديدان مستحاثة**. a، Scolécodontes ديدان من الحقب الأول (Hinde). b، **Amiskawia sagittiformis** (كامبري أوسط في كولومبيا البريطانية) (Walcott). c، **Spirorbis** (أنابيب كلسية لديدان ملتفة مثبتة على مصراع عضدية القدم من الحقب الأول). d، **Jereminella** (أنابيب علقيات مبسطة في السينوني الألبي). e، سربولة تطوق حصاة أو مستحاثة (فراكونيان منطقة سالازاك في مقاطعة Gard).

الداخلي أو الشرجي الخارجي. وذوات الشرج الخارجي هي المعروفة في الرسوبات. وقد قسمت إلى بضع رتب: هي ذات الفم الدائري، و Trépostomes (بائدة وتشتمل

Chaetétidés)، وخفيـات الفـم (وهـي بائـدة أيضاً)، وذات الفـــم الشفـــوي Cheilostomes.

شعبة عضديات القدم

وهي تنتسب إلى صف الحزازيات الحيوانية وإلى الديدان، ولكنا سنجد ظهور قوقعة كلسية أو قرنيَّـة ـــ كلسية مثبتة بسويْـقة ومؤلفة من مصراعين (مصراع بطني ومصراع ظهري)، مفصليين أو غير مفصليين. كما يوجد، بالإضافة لذلك زوائد فميَّة (أذرع) محمولة أحياناً بواسطة جهاز كلسي لولبي (جهاز تنفسي غلصمي) مميز.



شكل ١٣٤ ـــ **مفصليات القدم مستحالة**. القشريات الخيطية القـدم. a، **Balanus concavus** من الثلاثي البريطاني. قشريات ورقية القدم. b، **Leaia tricarinata**. b، **Estheria minuta** (ترياس). قشريات استراكـودا Ostracodes. c، **Leperditia fabulites** (سيلـوري أسفـل). c، **Drepanellina Clarki** (سيلـــوري). c، **Beyrichia** (سيلوري ـــ برمي). ثلاثية الفصوص: d، **Calymene** (سيلوري)، وبالأسفل هي ذاتها ملتفة. e، **Dalmanites** (سيلـوري ـــ ديفـوني). e، شكـل يظهـر مختلف أجزاء جسمهـــا المفـــكك. f، **Phacops** (سيلوري ـــ ديفوني)، منظر جانبي ومدور يظهر نمو العينان المفرط.

وقد استحاث هذان المصراعان بسهولة كبيرة وتبدو عضديات القدم أكثر انتشاراً وتنوعاً في الرسوبات منها في بحارنا الحالية (شكل ١٣٢) .

صف اللامفصليات : وتشتمل على الرتب التالية : آتروماتا Atremata (التي تحتوي على شكال حالية مثل Lingules) والنيوتروماتا Néotremata .

صف مفصليات الأرجل : تضم رتبـة البروتروماتـا Protremata على غالبيـة الأشكال البائدة العائـدة للحـقـب الأول (**Orthis** ، **Productus** ، **Pentamerus** ... إلخ) . وفي فئة التيلوتروماتا Telotremata يوجد ، فضلاً عن الفصائل البائدة ، مثل الـ **Spériféracées (Sipirifer)** ، فصائل لا تزال ممثلة في البحار الحالية (**Rhynchonellacés** و **Térébratulacés**) .

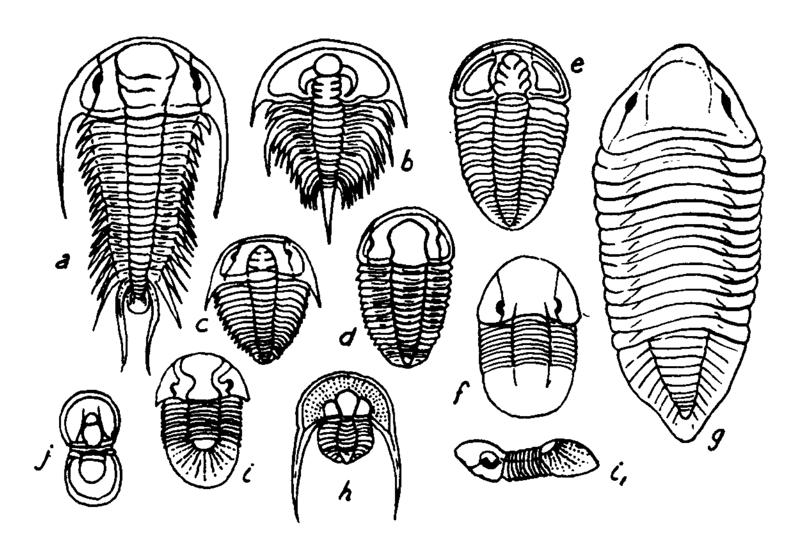
شعبة الديدان و الديدان الخيطية Némathelmintes

يكون جسمها الرخو ، والمتطاول والمقسم إلى حلقات أحياناً ، يكون عموماً محروماً من هيكل أو من غلاف ، ويكون الجهاز الشرجي مؤلفاً من أنابيب مفرزة . لهذا كانت هذه الشعبة لا تشتمل إلّا على قليل من ممثلاتها المستحاثة . ولكن أمكن التعرف على آثار مرور هذه الكائنات (دروب) ، وعلى أنابـيـب الوقايـة الكلسيـة ، وعلى Scolécodontes أو قطع درّعية مرصوفة بتناظر على طول خرطوم ، منذ أقدم الأراضي الرسوبية (شكل ١٣٣) .

شعبة مفصليات القدم

وتسمى أيضاً المفصليات لأنها مجهزة بهيكل خارجي ذي قطاعات ومفاصل ، متشكلة من دُرّعة chitine يكون أحياناً متشرباً بشدة بالكلس . ويكون التناظر مزدوج الجانب وتوجد منظومة عصبية بطنية .

صف القشريات : وهي حيوانات مائية ، مجهزة بغلاصم وبزوجين من قرون الاستشعار antennes . وهناك عدد كبير من الرتب ممثلة في الرسوبات وفي الطبيعة

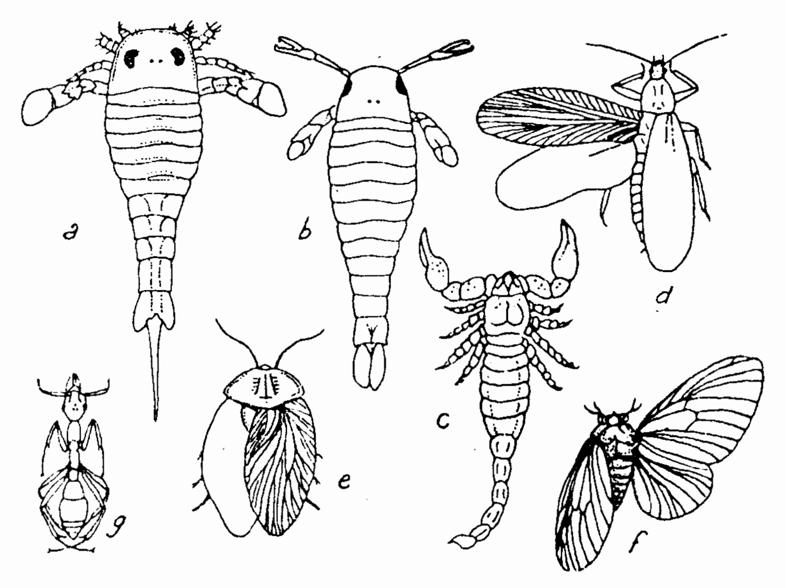


شكل ١٣٥ ــ ثلاثية الفصوص. a، **Paradoxides bohemicus** (كامبري أوسط). b، **Olenellus** (كامبري أسفـــــل). c، **Olenus troncatus** (كامبري أعلى). d، **Ellipsocephalus Hoffi** (كامبري أوسط). e، **Conocoryphe Sulzerie** (كامبرى أعلى). f، **Illaenus Dalmani** (سيلـــوري أسفـــــل). g، **Homalonotus delphinocephalus** (سيلوري أعلى). h، **Trinucleus Goldfuussi** (أوردوفيسي). i، **Bronteus** (ديفوني). j، **Agnostus** (كامبري).

الحالية مثل: خيطيات الأرجل cirrhipèdes، وورقيات الأرجل، وثلاثية الفصوص، واستراكودات وفيللوكاريد Phyllocarides، ومتساوية الأرجل، وجانبية الأرجل، وفميات الأرجل، وعشريات الأرجل (أو أصناف السرطان). وتكون بقايا القواقع ذات المصراعين لفئة الاستراكودات منتشرة نوعاً ما في بعض الطبقات، ولكنها على الغالب من ثلاثية الفصوص (جسم بيضوي، له ثلاث فصوص في كلا الاتجاهين)[1]، وهي مجموعة من الحقب الأول؛ أي بائدة، والتي تثير الاهتمام بين سائر القشريات نظراً لدورها كمستحاثات مميزة للطبقات (شكل ١٣٤ و ١٣٥).

صف النقّابيات **Mérostomes**: وهي عبارة عن صف من مفصليات الأرجل، مائية لا تملك سوى زوج من قرون الاستشعار، اللذين يتحولان أحياناً إلى

(١) تفصل ثلاثيات الفصوص حالياً عن القشريات (Archaeocrustacés) أو حتى لتوصف تحت إسم Paléoarthropodes.



شكل ١٣٦ ـــ **النقايات وحشرات مستحاثية**. نقاييات (عملاقة) . a ، **Eurypterus Fischeri** (سيلوري أعلى) . b ، **Pterygotus osiliensis** (سيلوري أعلى) عنكبيات . c ، **Palaeophonus** (عقرب سيلوري) (Pockock) . حشرات . d ، **Encoenus** (طبقة الفحم الحجري) . e ، **Mylacris** (طبقة الفحم الحجري) . f ، **Limacadites** (فراشة جوراسية) (Handlirsch) . g ، **Prionomyrmax longiceps** (نملة عنبر البلطيق) .

ملاقط ، وتقترب بذلك من العنكبيات . ورتبة الجبابرة Gigantostracés التي تشتمل على حيوانات ضخمة جداً تنحصر بالحقب الأول (الديفوني) ، قد أصبحت بائدة تماماً (شكل ١٣٦) . أما رتبة السيفيات Xiphosures فلا يزال يمثلها حتى الآن حيوان النـقّـاب Limule .

صف المشّائيات Péripates : وهي من مفصليات الأرجل ذات جسم دودي الشكل يمثلها الآن جنس واحد حالي ، ولكنها تبدو بلا ريب قديمة جداً .

صف عديدات الأرجل : تشابه الأشكال المستحاثة الأشكـال الحاليـة ، وجميعها تملك أعداداً كبيرة من الأرجل (مثل دخّـال الأذن وأم الأربع والأربعين) .

صف العنكبيات : ولها أربعة أزواج من الأرجل . وقد كانت العقارب والعناكب معروفة منذ الحقب الأول .

صف الحشرات : ولها ثلاثة أزواج من الأرجل. وتقسم استناداً إلى وجود أو غياب الأجنحة إلى Ptérygogènes وإلى Aptérigogénes . وتعود أقدم الحشرات للديفوني وهي من فئة عديمات الأجنحة. أما ذوات الأجنحة فتضم الرتب الآتية: Palaeodictyoptères (التي تشتمل على بعض الآنساتَ Libellules الجبارة التي تعد من أكبر الحشرات المعروفة)، والتي بادت بعد الحقب الأول والـ Protorthoptères وهي أيضاً بائدة، وذوات الأجنحة المستقيمة Orthoptères ، وغمديات الأجنحة Coléoptères ، وغشائيات الأجنحة، وزوجيات الأجنحة، ونصفيات الأجنحة التي تحتوي على أشكال مستحاثة وخاصة على أشكال حالية (شكل ١٣٦).

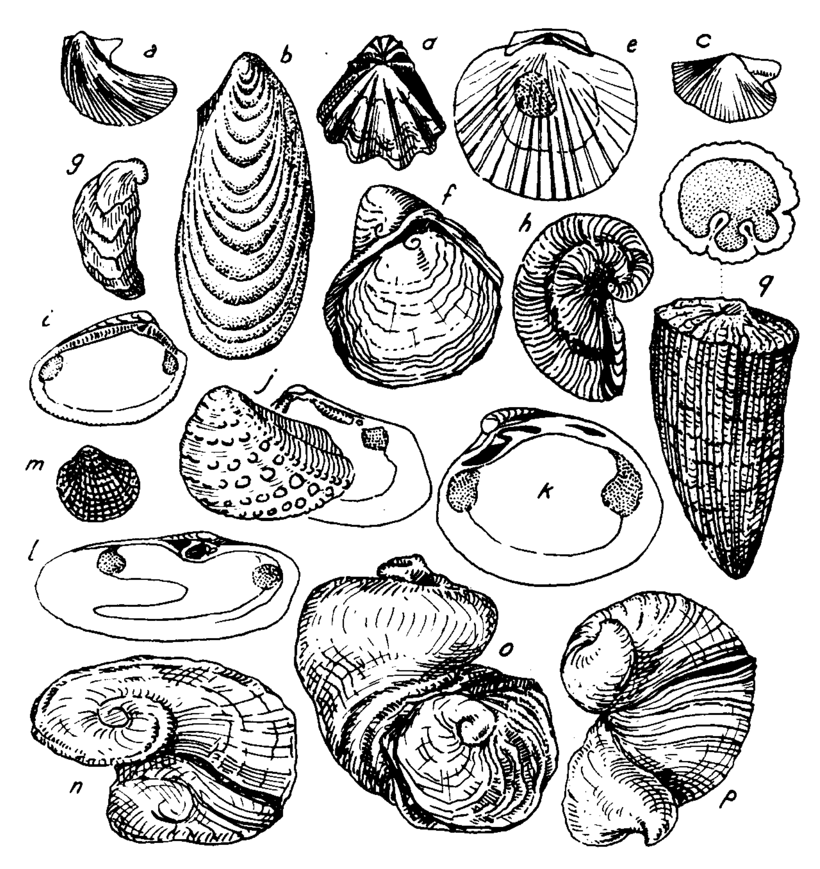
شعبة الرخويات

جسمها رخو ومحمي عموماً بقوقعة ثنائية المصراع ذات طبيعة كلسية. ونجد هنا مصراعاً أيمن ومصراعاً أيسر ويكون التناظر ثنائي الجانب. وهي حيوانات واسعة الانتشار في الطبيعة الحالية، كما تحتل مكاناً هاماً بين المستحاثات المألوفة.

صف الرخويات الجبلية Amphineures : ويكون جسمها بشكل استثنائي متطاولاً ومتناظراً ومحمياً بقوقعة كلسية مؤلفة عند حيوان الشيتون Chiton من ثماني صفائح. وتكون بحرية حصراً وقد وجدت منذ أقدم العصور ولا تزال معاصرة.

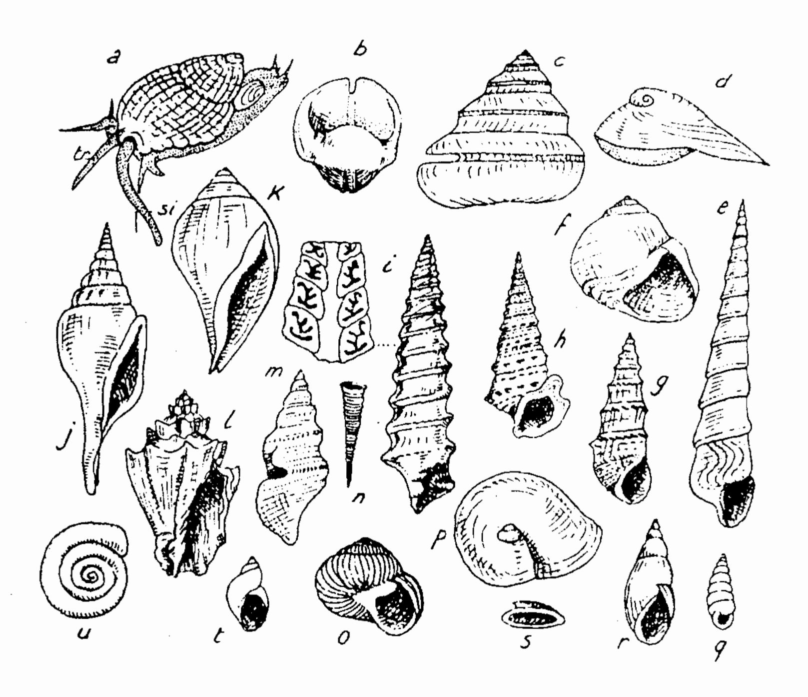
صف صفيحيات الغلاصم : وتكون عديمة الرأس (Acéphales) وتملك رجلاً على شكل بلطة (Pélécypodes) وقوقعة مزدوجة المصراع (ذوات المصراعين). وكلها حيوانات مائية ومعظمها بحرية ورتبة Taxodontes هي من أكثرها قدماً. أما الرتب الأخرى فهي Schizodontes و Préhétérodontes و Hétérodontes و Dysodontes و Desmodontes . ويشبه بالهيتيرودونت المجموعة الغريبة المسماة باشيودونت Pachyodontes أو روديست Rudistes ، التي أصبح افرادها، وجميعها بائدة، مشوهة جداً على أثر تثبيت المصراعين. وتكون صفيحيات الغلاصم من بين أكثر المستحاثات انتشاراً. (شكل ١٣٧).

صف بطينات الأرجل: ولها رأس، وعضو ضخم لحمي للزحف، وقوقعة كلسية وحيدة المصراع. ملتفة حول نفسها. ويكون حلقها مصحوباً بأعضاء ماسكة وماضغة (radula). وتضم أماميات الغلاصم Prosobranches وخلفيات الغلاصم



شكل ١٣٧ ــ صفيحيات غلاصم مستحاثة. a، Avicula contorta (ريتي Rhétien). b، Inoceramis labiatus (توروني). c، Conocardium alaeforme (تورنيـــزي Tournaisien). d، Neithea (Vola) atava (نيوكومـــي Néocomien). e، Pecten (Amussium) cristatus (ميـــوسين). f، Exogyra columba (سينومــــاني). g، Exogyra virgula (كيــمريجين). h، Gryphea arcuatra (سينيمـوري). i، Nucula nucleus (ميـوسين). j، Trigonia Brouni (آسترارتي Astartien) . k، Cyprina islandica (رباعي). l، Lutraria elliptica (بليوسين). m، Cardiola interrupta (غوتلاندي). n، Toucasia carinata (أورغوني). o، Requienia ammonia (أورغوني). P، Diceras arietinum (روراسي Ruracien). q، هيبوريت Hippurites في الأعلى مقطع للمصراع الكبير يظهر العمودين والحرف الرئيسي (كريتاسي أعلى).

Opidthobranches وذوات الرئة Pulmonés . وتكون رتبة أماميات الغلاصم أقدمها وتشتمل على أشكال قديمة جداً وحالية وبعض فصائل بائدة . أما خلفيات الغلاصم وجناحيات الأرجل فهي قليلة العدد جداً، وجناحيات الأرجل هي بحرية ولها قوقعة صغيرة جداً على شكل بويْق . أما ذوات الرئة فهي وحدها أرضية أو بحيرية وتتنفس من رئة كاذبة . هذا وتكثر بطينات الأرجل أحياناً في الرسوبات (شكل ١٣٨) .



شكل ١٣٨ ــ معديّات أرجل مستحاثة. a ، **Nassa reticulata** نوع عائش يقصد منه إظهار الخرطوم (tr) والمص أو السيفون (Si) . b ، **bellerophon biacarenus** (ديناتني Dinantien) . c ، **Pleurotomaria subscalaris** (باجوسي) . d ، **Velates Schmidelianum** (إيبزيري Ypsérien) . e ، **Turritella imbricataria** (لوتيسي) . f ، **Natica crassatina** (ستامبــــــــــي Stampien) . g ، **Melania inquinata** (سبارنـــــــــاسي Sparnacien) . h ، **Potamides tricarinatus** (لوتيسي) . i ، نيرينه جوراسية 7Nèrinée ، إلى اليسار **Ptygmatis** نصف مصقولة . j ، **Fusus parisiensis** (لوتـيسي) . k ، **Sycum bulbiforme** (لوتـيسي) . l ، **Volutas musicalis** (لوتــــيسي) . m ، **Pleurotoma monilis** (تورتوني) . n ، مجسـيّـات Tentaculites . o ، **Helix Ramondi** (شطـيّ Chattien) . p ، **Lychnus Matheroni** (رونياسي Rognacien) . q ، **Pupa** من الكاربونيفير . r ، **Limnea longiscata** (بارتوني) . s ، **Ancylus lacustris** (رباعي وحالي) . t ، **succinea oblonga** (لوس) . u ، **Planorbis pseudoammonius** (لوتيسي Lutétien) .

صف رأسيات الأرجل : وهي رخويات تكون عضويتها راقية جداً ودورها عظيماً في علم المستحاثات (شكل ١٣٩) .



شكل ١٣٩ ــ **رأسيات أرجل مستحاثة**. زوجيات الغلاصم : a ، بيلمنيت لياسية ممطوطة ومجزأة. b ، **Belemnitella** الكريتاسي الأعلى. c ، بيلمنيت مبسطة **(Duvalia)** من الكريتاسي الأسفل. رباعيات الغلاصم. d ، **Orthoceras** . e ، **Nautilus danicus** (كريتاسي أعلى). أشباه الأمونيات . f ، **Ceratites nodosus** (ترياس أوسط) . g ، آمونية مع Aptychus محلّي ، إلى اليمين Aptychus منعزل . h ، **Perisphinctes (Ataxioceras) Lothari** (سيكواني أعلى) . i ، **Neumayria (Taramelliceras) compsa** (كيميريجين) . j ، **Turrilites (Ostlingoceras) Puzosianus** (آلبيان أعلى) . k ، بارّيجي **Macroscaphites Yvani** ، l **Arietites bisulcatus** (سينموري) . m ، **Scaphites (Holoscaphites) aequalis** (سينوماني) . n ، **Pulchellia (Nicklesia) Dumasi** (بارّيمي) . o ، **Creniceras Renggeri** (أوكسفوردي) .

والقسم الأعظم من القدم قد تحول عندها إلى أذرعة مجسية tentaculaires تطيف بالفم، الذي يكون بدوره مسلّحاً بفكّين ذوي طبيعة قرنية. ويتميز الرأس عن الجسم ويحتوي على عينين ضخمتين. ويكون التناظر في أغلب الأحيان ثنائي الجانب وقد نجد قوقعة مقسمة بحواجز (محْوجَزة).

وتبدو رتبة رباعيات الغلاصم ممثلة حالياً بالنوتيل Nautile ذات القوقعة اللولبية، والتي كانت أجدادها القدامى من ذوات القوقعة المستقيمة (الحقب الأول orthocères).

أما رتبة أشباه العمونيات فقد بادت تماماً بعد أن انتشرت كثيراً في الحقب الأول، وخاصة في خلال الحقب الثاني، حيث تلاشت بعده. وهي عبارة عن عمونيات. وجميع أنواعها تعيش بالبحر العميق، كانت تزخر بالبحار القديمة حيث خضعت لتحولات كبيرة جعلتها تشكل مستحاثات مميزة ممتازة. وكل ستراتيغرافية الحقب الثاني تقوم على مناطق العمونيات.

وتحتوي رتبة زوجيات الغلاصم على معظم الأشكال الحية. وتنسب إليها مجموعة البيلمنيت البائدة، التي تكثر مؤخرات قواقعها rostres على شكل سيكار كثيرة للغاية أحياناً في رسوبات الحقب الثاني.

لقد انتهينا حتى الآن من تعداد الحيوانات التي تعرف أحياناً تحت إسم اللا فقاريات لأنها محرومة من هيكل مؤلف من فقرات.

وسنقبل الآن على دراسة الحيوانات التي تقابلها والمعروفة تحت اسم الفقاريات، والتي تكون، على العكس مميزة بوجود هيكل.

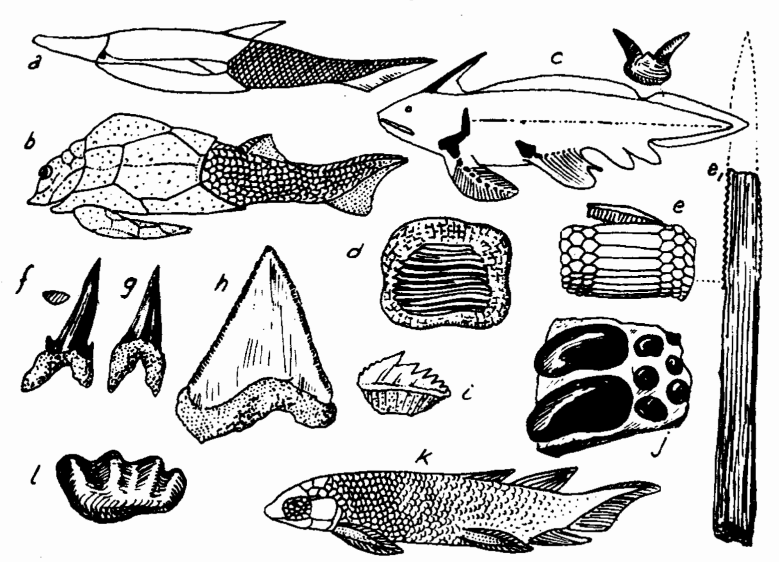
شعبة الفقاريات

وهي أقل عدداً من السابقة وأقل استعمالاً من قبل علماء المستحاثات، لأنها نادراً ما تكون محفوظة في الرسوبات. ولكن للفقاريات أهمية فلسفية عظيمة. فجميعها

متميزة بتناظرها الثنائي الجانب، وبمنظومتها العصبية الظهرية، التي تنتهي من الأمام بانتفاخ دماغي والتي يشتمل عليها غمد عظمي مؤلف من فقرات تنتشر حول حبل ظهري (حبليات) ممتد إلى الأمام بواسطة علبة الجمجمة. والأقسام المستحاثة طبعاً هي الهيكل والأسنان ولكنها تعطي عناصر هامة في التحديد.

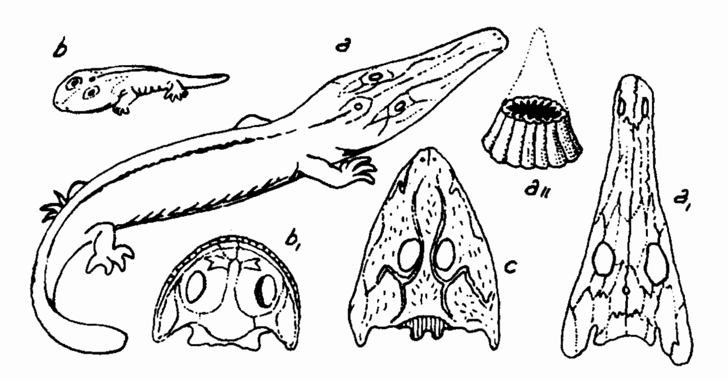
صف دائريات الفم: ففي هذه الفئة الصغيرة، التي يمثلها سمك الشلْق Lamproie (يشبه سمك الحيات) لا يوجد سوى منخار واحد في حين ينعدم الفكان، وسنجد صفات كهذه عند أقدم الأسماك.

صف الأسماك: وهي فقاريات مائية مغزلية الشكل، ذات دم بارد، تتنفس بواسطة الغلاصم. ويتألف جهازها التنقلي من زعانف، كما تكون أجسامها محمية بواسطة حراشف قرنية أو عظمية (شكل ١٤٠).



شكل ١٤٠ ــ أسماك مستحاثة. a، **Pteraspis** (سمكة مصفحة ديفونية). b، **Cephalaspis** (ديفوني). c، **Pleuracanthus** (برمي ــ كاربونيفير)، في الأعلى، سن منعزل **(Diplodus)**. d، سن **Ptychodus** (كريتاسي أعلى). e، سن مسطح على شكل بلاط لِـ **Myliobathis** (سمك اللياء Raie). وفي e1، حربة ذيلية للحيوان نفسه. f، سن سمك القرش من الحقب الثالث **(Lamna)**. g، **Odontaspis**. h، **Carcharodon**. i، **Notidanus**. j، أضراس طواحن لِـ **(Mesodon)Pycnodus** من الكريتاسي الأسفل. k، **Dipterus** (ديفوني). l، سن **Ceratodus** ترياسي.

وأقدمها تعود للسيلوري وتحتوي على صفات دائريات الفم (جهاز مص، فقدان الفك)، وهذه تسمى قوقعيات الجلد ostracodermes.



شكل ١٤١ ــ برمائيات مغطاة الرأس. a، Archegosaurus (برمي)، الجمجمة (á)، السن (ä). b، Branchiosaurus (برمي). الجمجمة في b̄. c، Mastodonsaurus (ترياس).

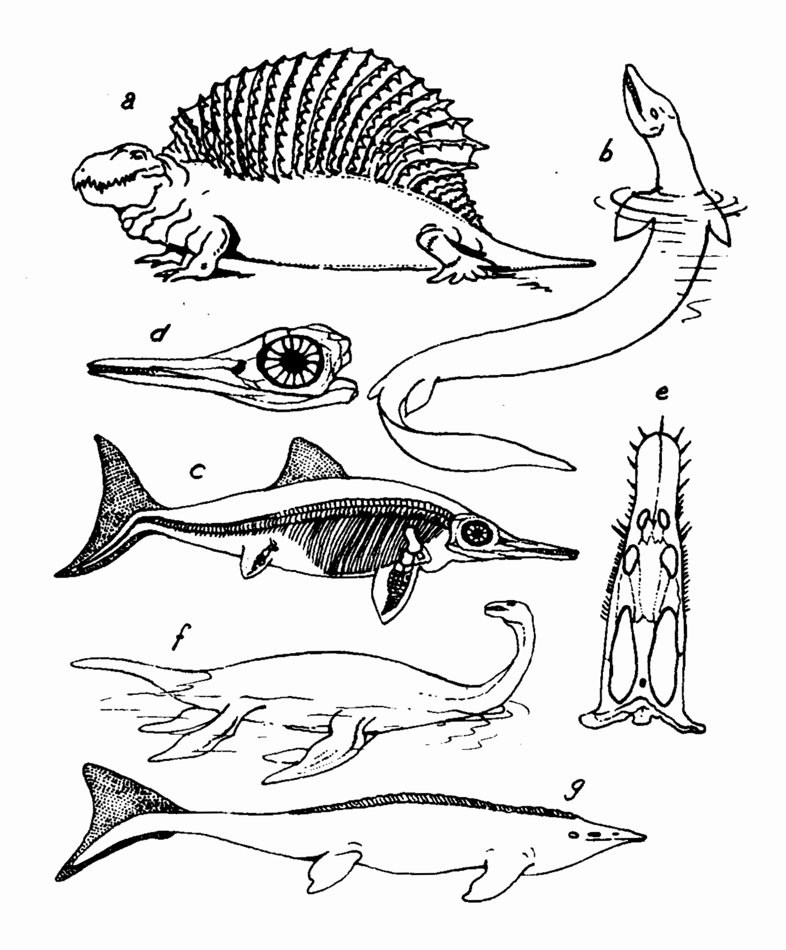
وتشتمل رتبة صفائحيات الجلد Placodermes على الأشكال المشابهة، ولكنها مجهزة بفكين، كما يكون جسمها مستوراً بصفائح عظمية كبيرة متلاحمة على شكل درع (أسماك مصفّحة). وهذه الأسماك لا تتجاوز الديفوني. ومن بين الرتب الأخرى التي وصلت إلينا نذكر الـ Elasmobranches التي أصبح عدد كبير من أنواعها بائداً مثل(Acanthodés. Prosvélaciens). و Holocéphales و Arthrodires الفردية (بائدة)، و Téleostomes (أسماك راقية) والأسماك المزدوجة التنفس dipneustes.

صف البرمائيات أو الضفادع: وهي فقاريات أرضية، ذات حرارة متبدلة، مجهزة بغلاصم عند الفراخ وبرئتين عند البالغات.

وتحتوي الجمجمة على لقمتين قذاليتين.

فرتبة عديمات الذنب (الضفادع) والضفاذع المذنبة Urodèles (سرفوت) والضفاذع الثعبانية Cécilies وهي ضفاذع سردابية عمياء وبلا أعضاء في أمريكا الجنوبية من رتبة عديمات الأرجل، هي رتب ممثلة في الطبيعة الحالية وذات جسم عار. أما رتبة المغطاة الرأس Stégocéphales التي تضم أشكالاً جبارة ذات جمجمة وجسم مستورين

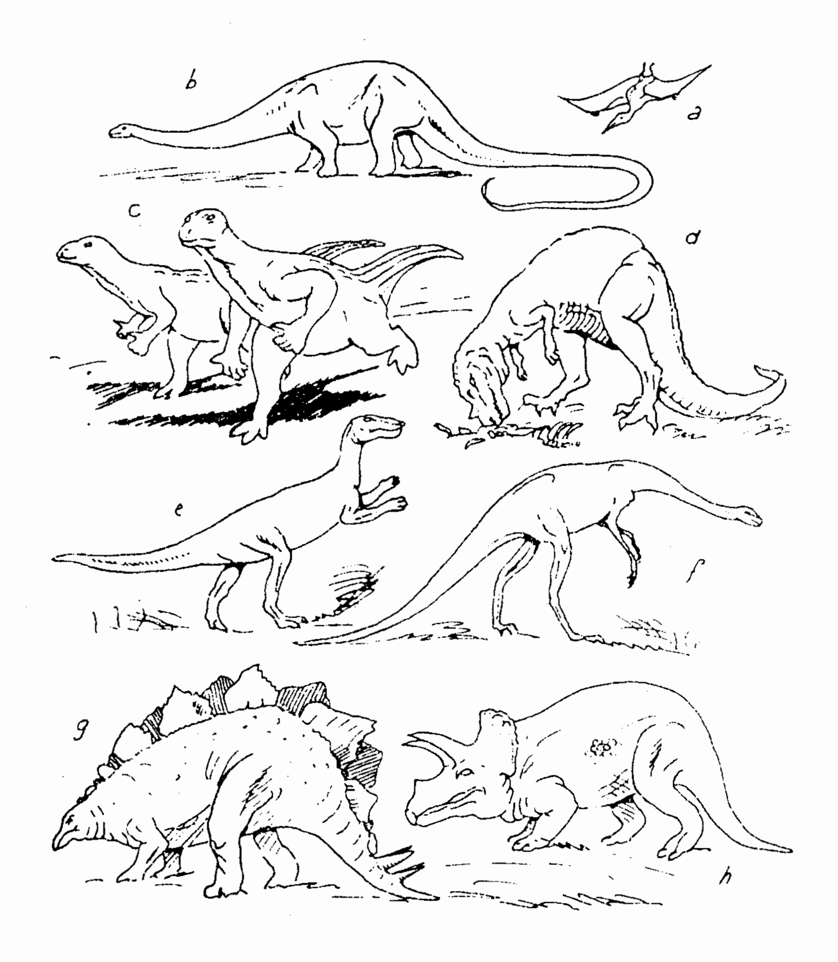
أحياناً بصفائح عظمية تحت البشرة فهي مستحاثة فقط (ديفوني ــ ترياس) (شكل ١٤١).



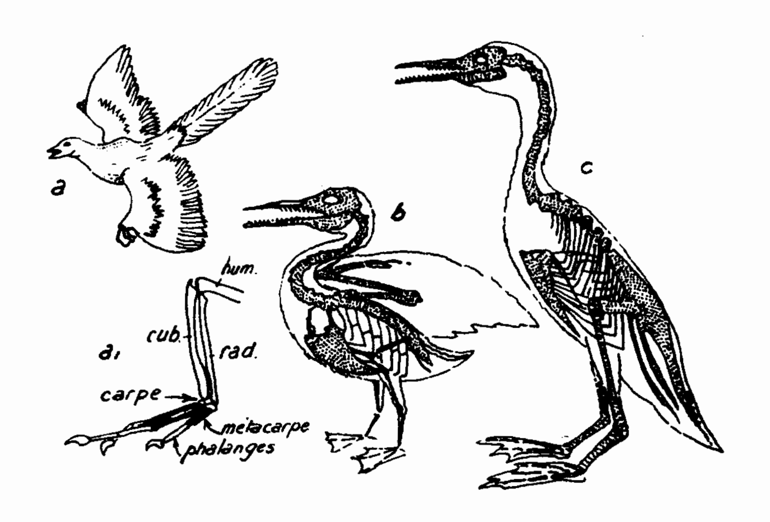
شكل ١٤٢ ــ **زواحف مستحاثة**. الحيتان Théromorphes . a ، **Naosaurus** (برمي). Pythonomorphes أشباه الأفاعي المفترسة. b ، **Mosasaurs** (ما يستريخي Maestrichtien). الأسماك الحرذونيــــة Ichthyosauriens . c ، **Ichthyosaurus** (لياس). d ، **ophtalmosaurus** (أوكسفوردي). Sauroptérygiens . e ، **Nothosaurus** (ترياس أوسط). f ، **Plesiosaurus** (لياس). g ، **Tylosaurus** (كريتاسي أعلى) (أفعوان الشكل أمريكي).

صف الزواحف: وهي فقاريات ذات حرارة متبدلة، وذات تنفس رئوي، تتكاثر بالبيوض. وليس لها سوى لقمة قذالية واحدة هو فك سفلي، مؤلف من عدة

عظمات، ويتصل بالجمجمة بواسطة عظمة مربعة، وقد تخضع أطرافها الأربعة أحياناً لتحولات عميقة كي تتواءم مع أكثر البيئات تنوعاً.



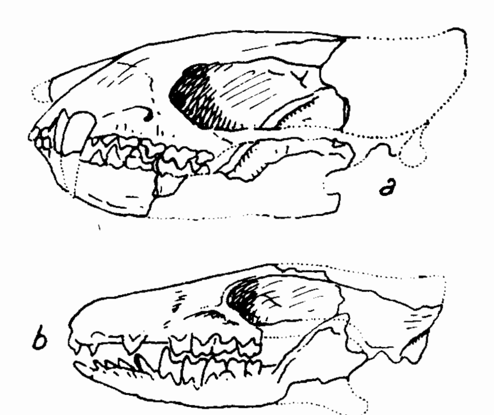
شكل ١٤٣ ــ زواحف مستحاثة (تتمة). زواحف مجنحة الأصابع **Pterodactylus** (جوراسي). ديناصوريات Dinosauriens . b ، **Diplodocus** (طوله ٢٥م) (جوراسي). c ، **Iguanodon** (ارتفاعه ٦م) (كريتاسي أسفل). d ، **Cerdosaurus** (جوراسي أعلى). e ، **Trachodon** (كريتـــاسي أعلى). f ، **Struthiomimus** (كريتـــاسي). g ، **Stergosaurus** (كريتاسي أسفل). h ، **Triceratops** (كريتاسي أعلى).



شكل ١٤٤ ــ طيور مستحاثة. a ، طائر Archaeopteryx (كيميرجيان قرب سولنهوفن). a1 ، عضو أمامي (جناح) لنفس الحيوان (hum ، عضد ، cub = المرفق ، rad = كعبرة) b ، Ichthyornis (كريتاسي أعلى أمريكي). c ، Hesperornis (كريتاسي أعلى أمريكي).

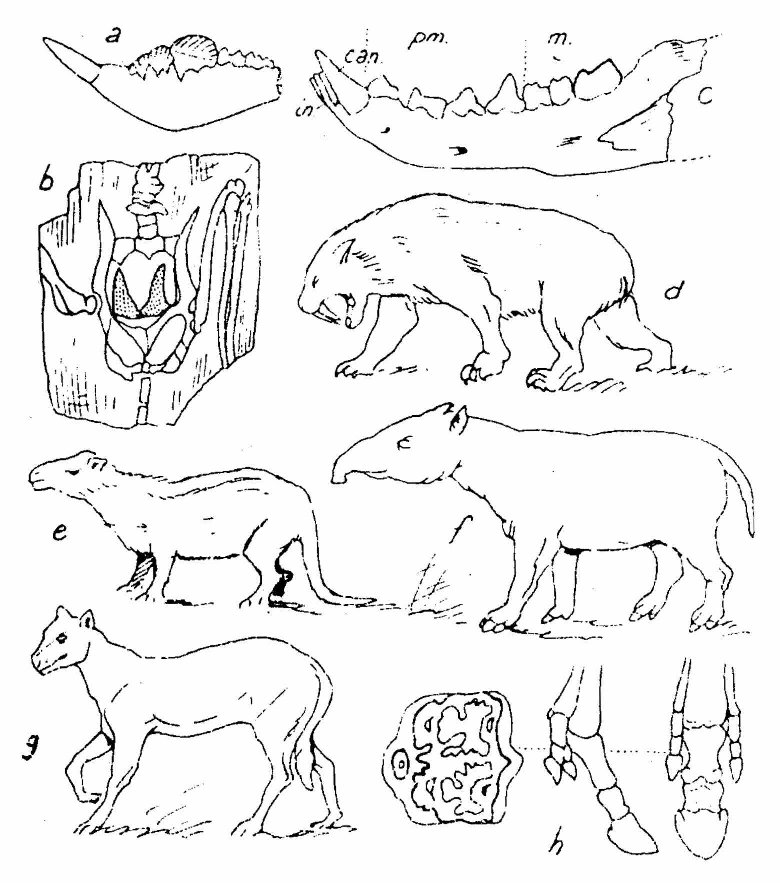
ويكـون جسمهـا مستـــــوراً بحراشف، وبصفائح قرنية أو عظمية.

أمــا الزواحـــف الحالية فليست سوى بقية عالم بائـد كان متنوعــاً بشكل مفرط (فكان بينها آكلات اللحم، وآكلات عشب، وحيوانـــــات ماشية، وقافزة، وطائرة ... إلخ) وانـتشرت في خلال الحقب الثاني (شكـــل ١٤٢).



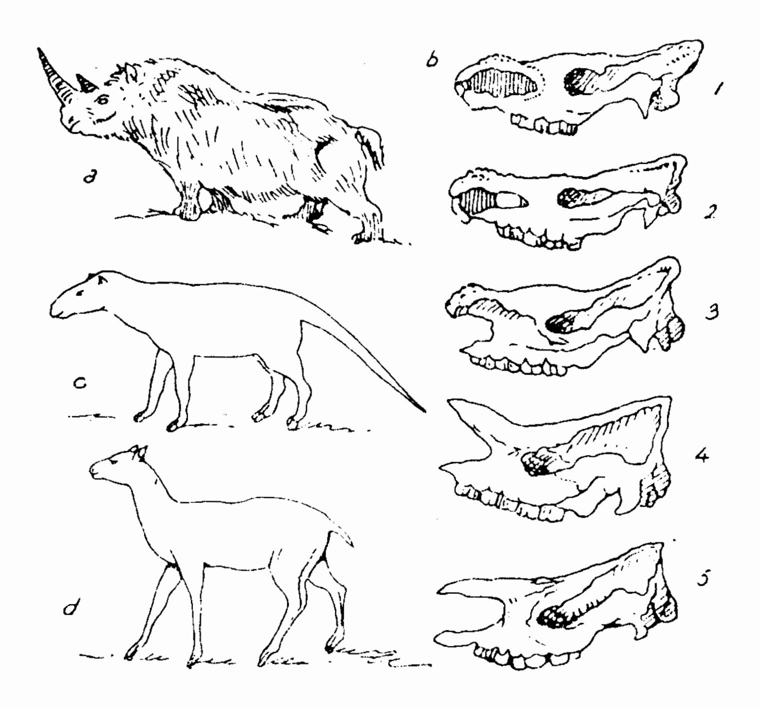
شكل ١٤٥ ــ أوائل الثدييات المشيميات. a ، Deltatheridium protrituberculare ، b ، Zalambdalestes lechei (كريتــاسي منغوليـــا). (Gregory و Simpson).

أمـا مغناطيسيـات الـرأس **Rhynchocéphales** والتمساحيـات ، والسلحفيـات والحرذونيات الحرشفيات (الحراذين والأفاعي) باستثناء مجموعة أشباه الأفاعي المفترسة البائدة **Pithonomorphes** ، فهي الرتب التي لا تزال ممثلة حالياً بين الزواحف . لكن كل الرتب الأخرى والتي يبدو مجموعها متنوعاً لأقصى حد ، فقد تلاشت نهائياً . مثل



شكل ١٤٦ ــ **ثدييات مستحاثة** . a ، فك **Plagiolax** (كثير التدرن **Multituberculé**) في (الجوراسي الأعلى) . b ، حوض حيوان السريغ **Sarigue (Didelphys)** في جبس مونتمارتر في باريس (Cuiver) (والأمكنة ذات النقاط تشير إلى العظمتين الكيسيتين) . c ، فك سفلي لحيوان **Heynodon** (Créodonte) . d ، **Smilodon** (مفترس رباعي) . e ، **Phenacodus** (Condylarthre الإيوسين الأسفل) . f ، **Plaeotherium magnum** من الإيوسين الأعلى . g ، **Eohippus** (إيوسين أسفل أمريكي) (Osborn) . h ، ضرس ورجل خلفية لحيوان **Hipparion** (بونسي **Pontien** أو الميوسين البحري) .

الـ **Théromorphes** وهي زواحف كبيرة أرضية مفترسة ذات أشكال غريبة، تكون أحياناً ثديية والأسماك الحرذونية والـ **Sauroptérigiens**، وهـو نوع من تماسيـح أو حراذين بحرية طويلة الرقبة، ومتوائمة مع السباحة، و **Parasuchiens**، وديناصوريات حيث نجد فيها آكلات العشب الهادئة الرباعية الأرجل والتي تعد من بين أكبر الحيوانات التي سكنت الأرض، والمفترسة الزوجية الأرجل، وهي راكضة أو قافزة، وأخيراً الحرذونيات المجنحة **Pyérosauriens** أو الزواحف المتوائمة مع الطيران (شكل ١٤٣).



شكل ١٤٧ ــ لديات مستحالة (تابع) Rhinoceros tihorhinus (Osborn). b، سلسلة أشباه الكركدن تظهر التعظم التدريجي للحاجب الأنفي. ١، كركدن Tichorhinus (رباعي). ٢، كركدن etruscus (بليوسين). ٣، كركدن Pachygnathus (بونتي). ٤، كركدن aurelianensis (ميوسين أسفل). ٥، Acerotherium lemanense (أوليغـوسين) (A.Gaudry). c، Anoplotherium (Ludien) (Cuvier). d، Xiphodon gracile (إيـــوسين أعلى) (Cuvier).

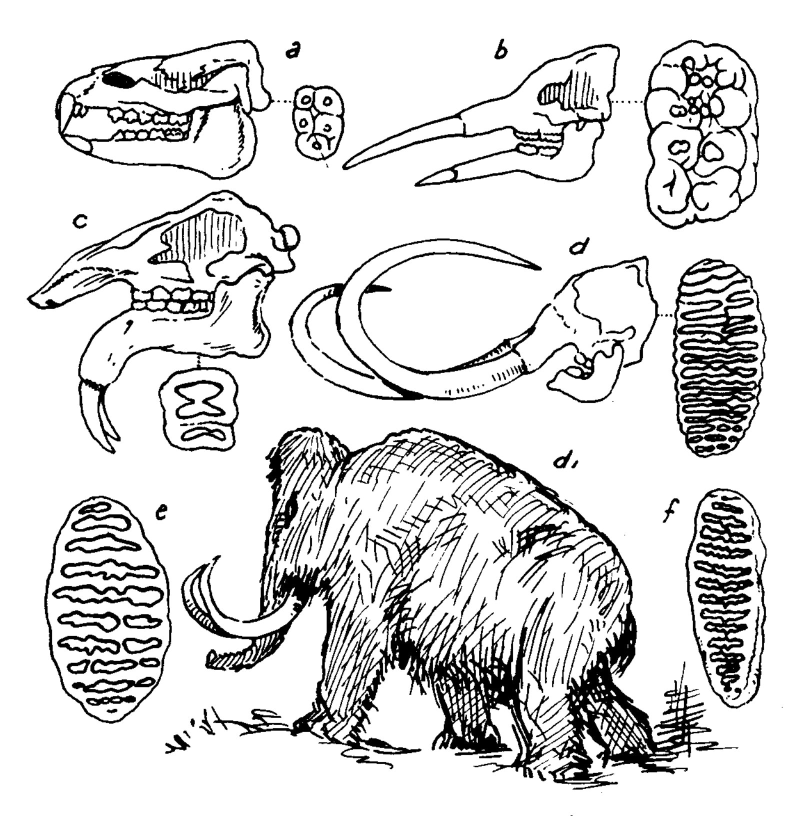
صف الطيور : فقاريات ذات دم حار ، لا تحوي جمجمتها إلّا على لقمة قذالية وحيدة . وتتكاثر بالبيوض وجسمها مكسو بالريش . والأوائل منها كانت ذات أسنان .

ولا يمثل رتبة الـ Saururés سوى الحيوان المسمى **Archaeopteryx** التي تبدو صفاته الزاحفة غير منكورة ، والمحصور في الجوراسي الأعلى ، أما ممثلات رتبة الطيريات Ornithurés (النعاميات Ratites و Carinatesl) فلم تظهر إلا مؤخراً ، في الكريتاسي الأعلى (١٤٤) .

صف الثدييات : وهي أيضاً فقاريات ، ذات دم حار ، ولكن جمجمتها تحتوي على زوج من اللقمات القذالية ولكن الفك السفلي عندها يتألف من عظمة واحدة ، تتصل مع الجمجمة دون وساطة عظمة مربعة . وجميعها تقريباً تتكاثر بالولادة وتحمل أثداء . ويكون جسمها مكسواً بالأوبار .

وتنقسم الثدييات إلى Prothothériens أو وحيدات الثقب (مثل Ornithorhynque وهو من رتبة اللبونات البدائية التي تبيض البيوض ، ولها منقار دون أسنان ، ولكنها ترضع صغارها وجسمها مستور بالأوبار أو بالأشواك) ، وإلى كيسيات أو Méthathériens التي تحتوي أيضاً على مجموعة بائدة هي العديدة الدرنات Multituberculés و Euthèriens أو المشيميات (شكل ١٤٦ ، ١٤٧ ، ١٤٨) . وهذه الأخيرة ، وهي أكثرها كمالاً ، تكون أوفر عدداً ، وأكثرها تنوعاً وهي التي قدمت أكثر الأشكال المستحاثة . وقد ظهرت أوائل الثدييات في الريتي Rhétien وهي Aplacentaires multituberculés . ثم ظهرت الكيسيات بدورها في الباتوني (أو الباتونيات) ، ثم أخذت طلائع الـ Placentaires تظهر في الكريتاسي الأعلى (شكل ١٤٥) ولكنها لم تنتشر كثيراً إلّا في الحقب الثالث الذي يتميز بها . ثم تطورت بسرعة لهذا تكون بقايا الثدييات ثمينة جداً من أجل الدلالة على عمر طبقة ما .

وتندمج كل الفقاريات المستحاثة في إطارات تصنيف الأشكال الحالية . وتتصف رتب آكلات الحشرات ، والخفاشيات ، وعديمات الأسنان (بما فيها الـ Gravigrades البائدة) ، والقوارض ، وحيتان البحر ، وأشباهها ؛ أي الخيلانيات بأنها لا تشتمل على



شكل ١٤٨ ــ الخرطوميات المستحاثة. a ، **Maeritherium** جمجمة وضرس أعلى (أوليغوسين. الفيوم. مصر). b ، **Mastodon (Tetrabelodon) Longirodtris** وضرس (بونتيان). c ، **Dinotherium** (ميوسين ــ رباعي). d ، ماموت **(Elephas primigenius)** وضرس (رباعي). d ، تمثيل الماموت (مستوحى من كتاب Abel) e ، ضرس **ELphas meridionalis** (بليوسين أعلى). f ، ضرس **Elephas antique** (بليوسين أعلى ــ رباعي أسفل).

أشكال مستحاثة عديدة. بيد أن الحيوانات اللاحمة (مثل ذوات الأقدام المشطورة؛ أي ذوات الأظلاف، وعنفيات الأقدام Pinnipédes ومجموعة Créodontes البائدة)، و Notongulés (بائدة) والحافريات؛ أي ذوات الحافر والظلف ongulés (ذوات الحافر، ذوات الأظلاف، Condylarthres، وضعيفات الأرجل Amblypodes والفيلة (الخرطوميات) فهي ممثلة جيداً وبواسطة مجموعات بائدة تماماً. وهكذا يمكننا أن نذكر بالنسبة لفصيلة الحافريات الرتب البائدة مثل Condylarthres، وفصائل عديدة من الخيليات (مثل Hyracothéridés ، Paléothéridés ، Anchithéridés)، والتابيريات

(Lophiodontidés) ، والكركدنيـات (Hyracodontidés و Amynodontidés) ، و Titanothériens بالنسبـة لذوات الحافـر و Dichobunidés و Anoplothéridés ولأجناس عديدة من ذوات الأظلاف . وضعيفات الأرجل هي أيضاً بائدة وكذلك الأمر بالنسبـة لكثير من أجنـاس وفصائـل الفيلـة (Mœrithéridés ، Dinothéridés ، Mastodontidés) . ولكن نوع Elphas أو الفيليات هي الباقية حتى الآن .

وأخيراً يختتم تصنيفنا برتبة الرئيسات Primates التي تشتمل على الليموريات والقردة والبشريات . ومن المعروف الآن أن البشريات المنتسبة إلى القردة ، كانت مسبوقـةً في الزمن من قبل مجموعة الانسان القديم (الانسان القرد ، الانسان الصيني ، والإنسان الإفريقي) التي أدت ذاتها إلى إنسان ما قبل التاريخ ، وهو جد البشرية الحالية (شكل ١٥٨ و ٣٠١) .

II ـــ لمحة عن تصنيف النباتات الحالية والمستحاثة

I ـــ خفيات الإلقاح

تضم عادة ، تحت هذه العبارة ، نباتات مختلفة جداً ، ولكنها جميعاً محرومة من الازهار ولها أعضاء تناسل خفية .

وجهازها النباتي هو عبارة عن كتلة من الخلايا المسماة ثالوس thalle .

شعبة الثالوسيات Thallophytes

صف الجراثيم : هي ثالوسيات وحيدة الخلية مجهرية ، ليس لها نواة متمايزة ، ولا يخضور . وقد عثر على آثارها حتماً في أقدم الرسوبات .

صف الطحالب Algues : وهي نباتات مائية وحيدة الخلية ، خيطية أو أكثر تعقيداً . ويكون اليخضور فيها محجوباً أحياناً بخضاب أزرق ، أسمر أو أحمر . ونجد بينها

المجهرية والضخمة. وهي شديدة الانتشار حالياً، في كل الأوساط المائية، كما تصادف في كل الطبقات، حتماً في أكثرها قدماً (شكل ١٤٩) مع صفات مماثلة لصفات الأشكال العائشة والتي تنتسب إلى كل رتب التصنيف: Cyanophycées (طحالب زرقاء)، مشطورات (طحالب سيليسية)، سوطيات Flagellés، Chlorophycées (طحالب خضراء)، Phaeophycées (طحالب سمراء) و Rhodophycées (طحالب حمراء). وأهمها بالنسبة لعلماء المستحاثات هي الطحالب الكلسية والأشكال البحرية العميقة التي ساهمت في تشكل الصخور الحاوية على البترول (طحالب خضراء وحمراء) (شكل ١٤٩ آ من a إلى i).

صف الفطريات: وهي نباتات طفيلية أو نباتات نتنة (رمية) محرومة من اليخضور (الكلوروفيل). وقد أمكن الإشارة إلى آثار نادرة مستحاثة عنها.

صف الأشنيات Lichens: وهي نباتات ناتجة عن مشاركة تعايشية بين طحلب وفطر. وهي نادرة أيضاً بين المستحاثات.

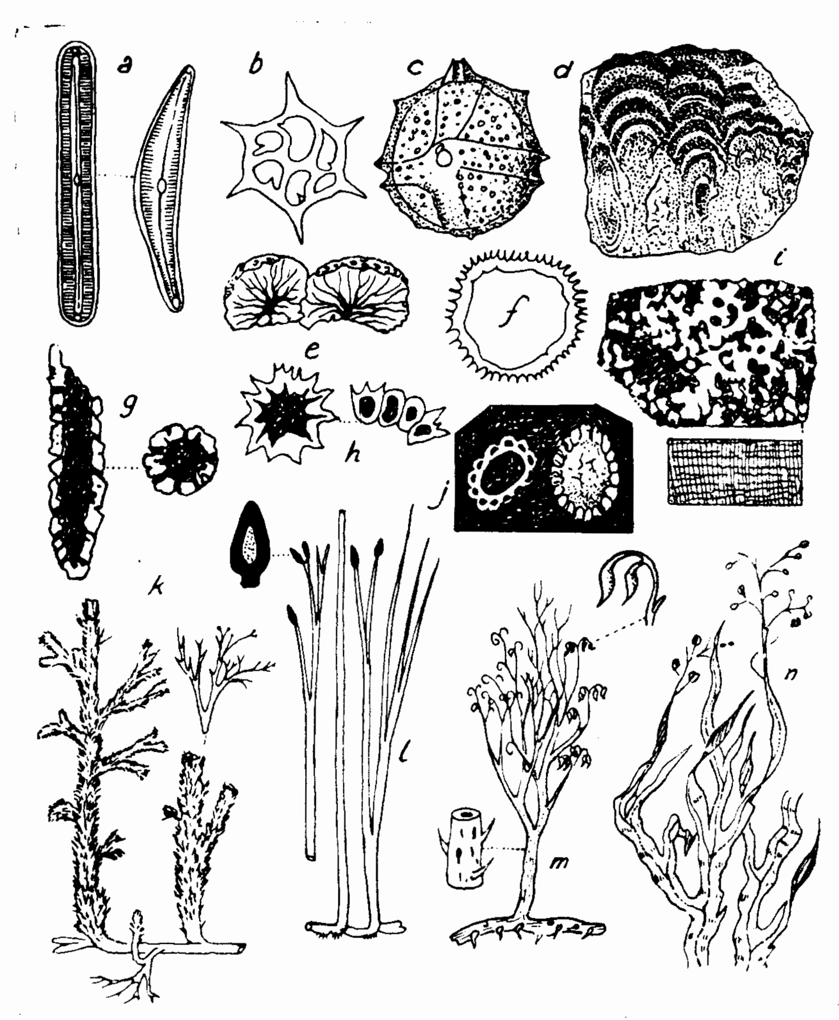
صف الكاريات Charophytes: وهي مجموعة خاصة تحتوي على نماذج انتقالية بين الثالوسيات والبريويات أو الحزازيات Bryophytes والتي وجدت بقاياها حتى في الحقب الأول (شكل ١٤٩، j).

شعبة البريويات أو الحزازيات Bryophytes

وهي نباتات يخضورية يكون جهازها الإنباتي عبارة عن ساق كثير الورق محروم من أوعية خشبية. والعضو الأنثوي هو archégone. وتندر آثارها المستحاثة.

صف الكبديات Hépatiques: والجهاز النباتي فيها ذو تناظر سهمي sagittale.

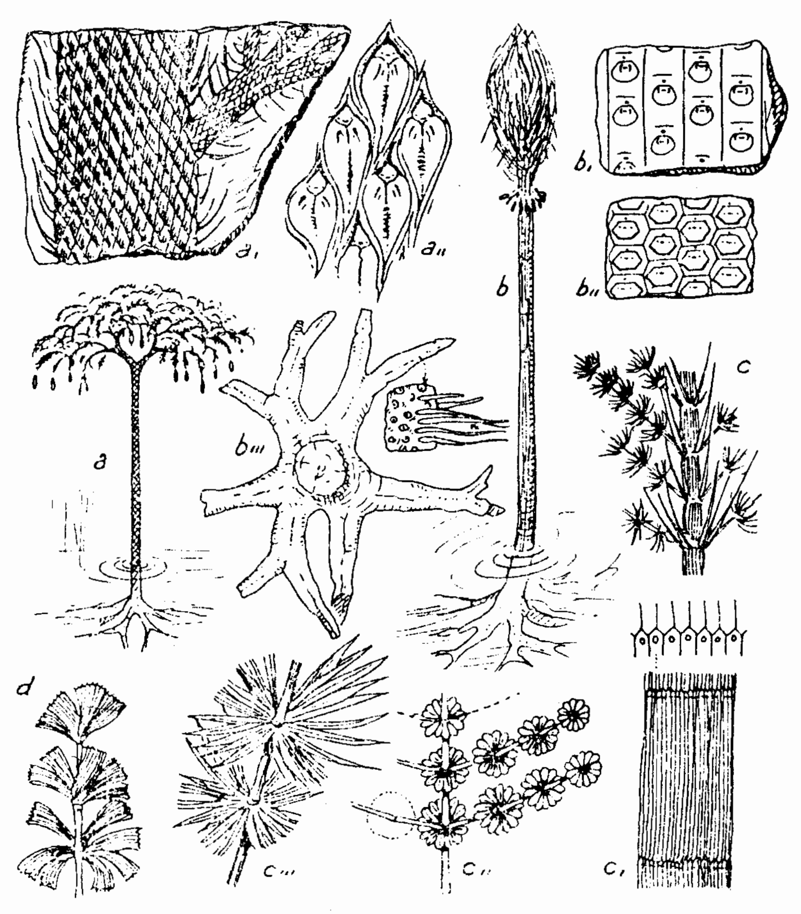
صف الحزازيات: والجهاز النباتي فيها ذو تناظر شعاعي.



شكل ١٤٩ ـ **الثالوسيات** Thallophytales وزمرة البسيلوتوم Psilophytes . a، مشطورات مستحاثة (Cocconema و Pinnularia) . b، السوطيات السيليسية الثلاثية Silicoflagellés (Dictyocha) . c، **Péridinien** سيليسية لمشطورة (دياتومي) أوليغوسينية (Lithoperidinium)(Deflandre) . d، Collenia (طحالب زرقاء مرصّعة، Stromatolithe) في الصخور الكلسية الكامبرية . e، مستعمرتين من Pila (طحالب خضراء) في الشيست الحمّري لمنطقة Autun . f، مستعمرة من Reinschia (طحالب خضراء) . g، أنابيب كلسية لـ Diplopore للصخور الكلسية الأورغونية (مقطع طولاني وعرضاني) (Dasycladacée) . h، Clypeina (Dasycladacée من الجوراسي الأعلى) . i، Archaeolithothamnium (طحالب حمراء) مظهر خارجي بالحجم الطبيعي ومقطع بالمجهر . j، مقاطع لساق ورغمية **oogone** الشارا Chara (الكاريّات Charophytes) (البوربكي Purbeckien) . Psilophytales . k، Asteroxylon (ديفوني) . l، Rhynia (ديفوني) . m، Psilophyton (ديفوني) . n، Haliserites (ديفوني) .

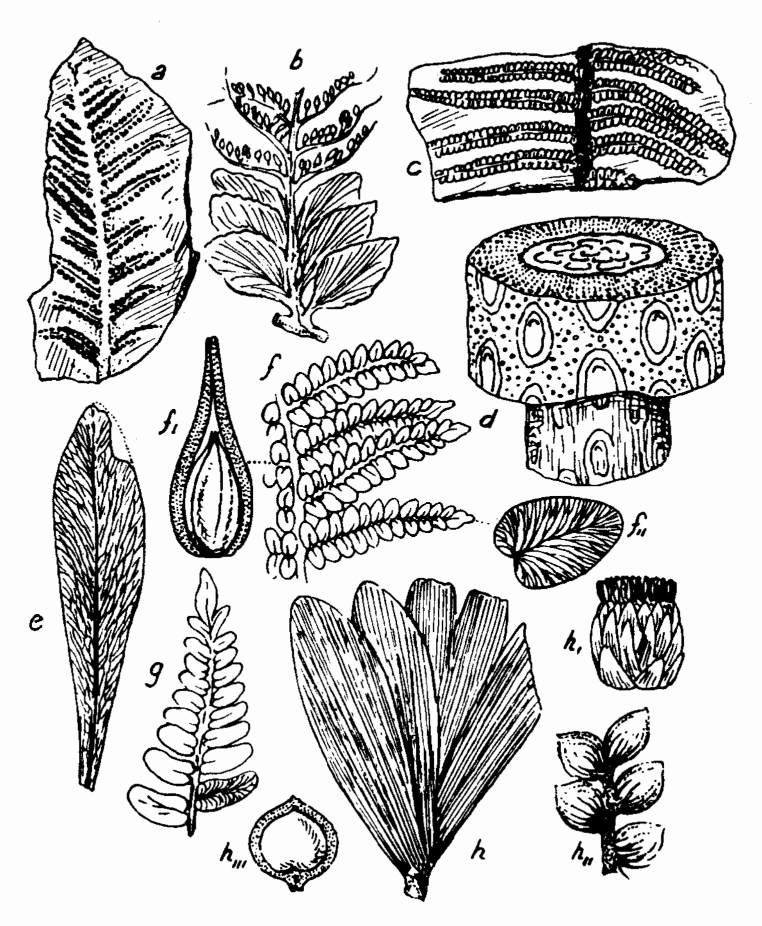
شعبة التريديات (المستورات)

وهي خفيات إلقاح وعائية، نباتات متميزة بظهور الجذور والأوعية. وبما أنها محرومة من الزهرة فليس لها بذور. والتكاثر يتأمن بواسطة أبواغ **Spores**.



شكل ١٥٠ ــ **التريديات Ptéridophytes** ــ أذناب الذئب. a، شجرة **Lepidodendron** (ارتفاعها ٢٥ ــ ٣٠م). á، جزء من ساق Lipidodendron مع أغصان وأوراق. a̋، ارتصاف المهدات الورقية على لحاء **L. sternbergii**. b، سطيلة (ارتفاعها ٣٠م). b́، قسم من جذع S. Tessellata مع جروح ورقية. b̋، نفس الشيء لدى **S. elegans**. b́، **Stigmaria** جذور **Lepidodendron** و **سيجيلاريا Sigillaria** مع قسم مكبر يظهر تداخل الجذيرات. أذناب الخيل Equisétates. c، قسم من غصين **Calamites**. ć، جذع **CAlamite** (قالب) مع تفاصيل العقد. c̋ **Annularia sphenophylloides** (أوراق الكالاميت). ć، **Annularia stellata**. d، غصن **sphenophyllum**.

صف البسيلوتوم **Psilophytales** : وتضم أوائل النباتات الأرضية المعروفة التي ظهرت في الديفوني. وهي وحدها مستحاثة (Rhyniacées, Astèroxylacées) (شكل ١٤٩، من k إلى n).



شكل ١٥١ ـــ سرخسيات **Filcales** وكوردائيت والتريديات البذرية. سرخسيات Filcales : a ، **Asterotheca** (إثمار السرخس) (كاربونيفير). b ، **Archaeopters** (ديفوني). c ، **Pecopteris arborescens** (كاربونيفير). d ، جذع سرخس كاربونيفيري **(Psaronius)**. e ، **Glossopteris** (سرخس قارة غوندوانا) التريديات البذرية. f ، **Neuropteris** (كاربونيفير). f́ ، **Trigonocarpus** (إثمار). f̋ ، **وريقة** foliole منعزلة. g ، **Mixoneura ovata** (كاربونيفير). الكوردائيت : h ، كوردائية (الورقي foliaire). h́ ، سنيبلة ذكر. h̋ ، إزهار أنثوي. h‴ ، **Cardiocarpus** (« بذرة » كوردائية).

صف الخدريات أو قدم الذئب Lycopodiales : إلى جانب الرتب الحالية مثل الخدريات Lycopodiacées و كفعانيات Sélaginellacées ، الممثلة بنباتات عشبية صغيرة ، ذات أوراق صغيرة جداً ومرتصفة على شكل لولبي حول الساق ، يقتضي أن نترك مكاناً خاصاً لزمرة الأشجار الحرشفية أو القشريات Lépidodendracáces والسطليات Sigillariacées ، وهي أنواع من الخدريات، أو قدم الذئب Lycopodes شجرية في المستنقعات الفحمية التي كانت تبلغ ثلاثين متراً من الارتفاع والتي تدخل أنقاضها في تركيب أربعة أخماس أحواض فحم شمال فرنسا (شكل ١٥٠ ، a — b) .

صف أذناب الخيل أو كنبائيات Equisétates : وهنا أيضاً نجد أن الأشكال الحالية جميعها عشبية (رتبة كنبائيات esquiacées) ، ومتميزة بساقها المفصول إلى مفاصل يملك كل منها دوّارة من أوراق بسيطة ، وليست سوى صور صغيرة جداً لأشكال مستحاثة شجرية بائدة (أوائل المفصليات Protoarticulées ، Calamariées والاسفينيات Sphénophyllées) (شكل ١٥٠ ، d-c) .

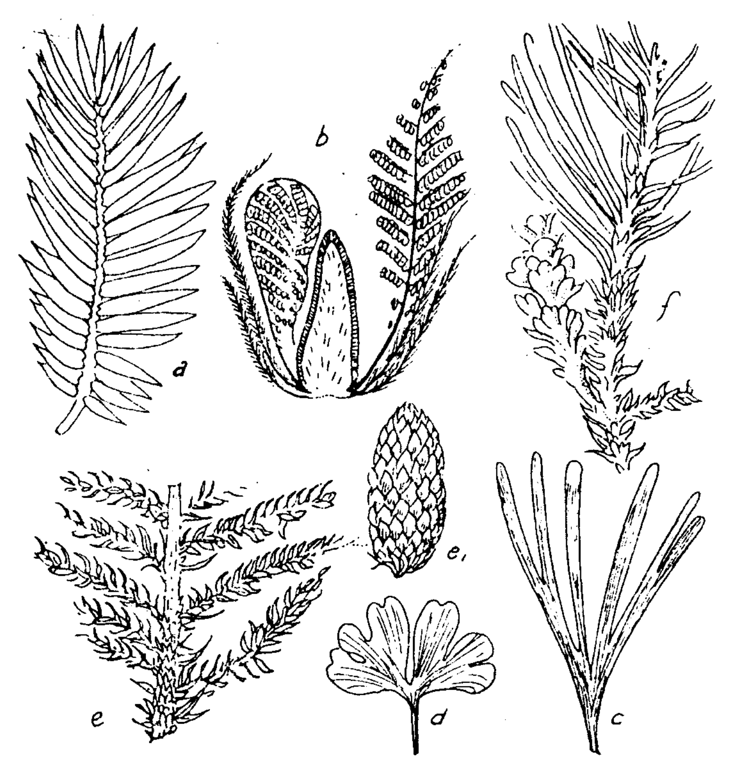
صف السرخسيات Filicales : إن السرخسيات الحالية ، التي تظهر معظم فصائلها بحالة مستحاثة ، كانت مسبوقة بالزمن (منذ الديفوني) من قبل Paléoptèriades ، المتلاشية حالياً .

وهنا تأخذ الأوراق اتساعاً كبيراً جداً وتتقاطع إلى ما لا نهاية وتظهر أكياس الأبواغ على أوراقها .

صف الكلادوكسيليات Cladoxylales : وهي مجموعة خاصة مستحاثة فقط ومن الحقب الأول .

II — ظاهرات الإلقاح

وهي نباتات ذات زهرة وبذرة ، ولها أيضاً جذور ، وساق ، وأوراق ، وأوعية خشبية .



شكل ١٥٢ ــ خفيات القاح مستحالة **Benettitales** . a ، **Zamites feneonis** (جوراسي أعلى) . b ، زهرة **Cycadeoidea** . Ginkgoales : c ــ **Baiera** (جوراسي أعلى) . d ، **Ginkgoites Huttoni** (جوراسي أعلى) . conifèrales : e ، **Walchia piniformis** (برمي) . é ، مخروط حاوٍ على ثمر لنفس النوع . f ، **Voltzia heterophylla** (ترياس) غصن مع نموذجين من الأوراق ومخروط حاوٍ على الثمر .

صف عريانات البذور : وتكون الكربلات carpelles فيها متمددة والبويضات عارية . ولا يشتمل الخشب الثانوي ، حصراً ، إلّا على ألياف سديرية aréolées . وتكون رتب عاريات البذور Ptéridospermées (« السرخس ذو البذور »)[1] ، والكوردائيت Cordaïtales (شكل ١٥١) ، و Bennettitales و Caytonales هي مستحاثة صرفة .

---

(١) هناك جدل قائم حالياً حول حقيقة طبيعة هذه « البذرة » لدى التريديات البذرية (عاريات البذور) Ptéridospermées . فالبذرة هي بالواقع عبارة عن بويضة مخصَبَة حاوية على فوق أي جنين نباتي . بيد أن كل « البذرات » التي أشير إليها عند التريديات البذرية ليست سوى بويضات . ويضمها بعض علماء النبات مثل Emberger إلى فئة الكوردائيت Cordaïtales في صف خاص هي صف ما قبل ظاهرات الإلقاح .

أما السيكادالات Cycadales ، والجنكالات Ginkgoales و الـوزّالات Gnètales والصنوبريات Coniférales ، وهي نسبياً قديمة ، فلا تزال موجودة وممثلة حالياً (شكل ١٥٢).

صف مغلفات البذور : وتكون الكربلات فيها مغلقة وتخفي بويضات. ولا تحوي أليافاً سديرية بل أوعية خشبية حقيقية.

صف وحيدات الفلقة : نبيْتة مجهزة بفلقة واحدة. وبقاياها المستحاثة نادرة نوعاً ما.

صف ثنائيات الفلقة : نبيتات ذات فلقتين. مستحاثاتها وفيرة. وكل الرتب الحالية ممثلة في عالم المستحاثات مثل : اللاتويجيات Apétales ، منفصلات التويجيات Dialypétales ، متحدة التويجيات Gamopétates .

٥ ــ علم المستحاثات والتطور

إن علم المستحاثات ، وهو علم الأموات ، لا يستطيع طبعاً أن يقول كلمته في معرض المشكلة الكبرى ألا وهي السبب الأول لتغير الكائنات (وهي مسألة لم نعمد لأكثر من رسم خطوطها الكبرى والتي هي من اختصاص علم البيولوجيا) لكنه ، على العكس ، يكون هذا العلم مرغوباً فيه بشكل فريد ليقدم حقائق ملحوظة دقيقة في الجدل المتعلق بظهور وباختفاء الأنواع ، وبتبدلاتها في المكان وخاصة في الزمان.

ففي بعض الطبقات حيث تكثر المستحاثات يستطيع عالم المستحاثات أن يلاحظ وجود مجموعات من أشكال تشتمل على أنواع محلية أو عروق إقليمية تنتقل حدودها بشكل غير محسوس إلى نموذج متوسط. والمجموع هو نوع كبير ، واجتماع أنواع كهذه يؤلف الوحيش.

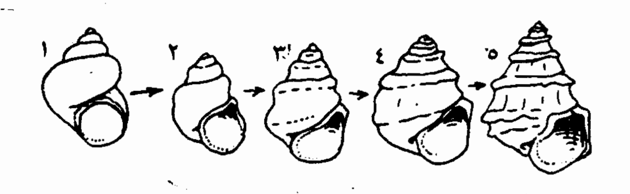
وقد لوحظت وقائع كهذه منذ أمد طويل من قبل Bellardi بالنسبة للديدان

الشاطئية وهي معديات أرجل، تكثر في الطبقات الثلاثية في منطقة البييمونت الإيطالية، ومن قبل Fontannes بالنسبة للأمونيات (Neumayria) التي تبدو كثيرة جداً في الصخور الكلسية الجوراسية لمنطقة Crussol قرب فالانس بجنوب شرق فرنسا.

ولكن عوضاً عن أن نتقيّد بطبقة واحدة بحيث لا تستطيع أن تقدم سوى تبدلات في المكان في وقت معين؛ أي **تشكيلة Variétés**، نبحث عن التعديلات التي قد تخضع لها المستحاثات في الطبقات الواقعة فوق الطبقة المعينة أو تحتها، حيث قد نشاهد تغيرات أكثر أهمية بكثير تؤدي إلى تحولات تدريجية في الأشكال، وبكلمة موجزة إلى ظواهر تحوّل حقيقية.

وتظهر الدراسة المتئدة للمستحاثات الموجودة في سلسلة من الطبقات بالفعل، وفي كثير من الحالات، أن الأنواع المتعاقبة قد ترتبط فيما بينها **بأشكال وسيطة**، وأنه يوجد في الزمان، سلاسل حقيقية من الأشكال لا تزال معروفة تحت عبارة فروع شعابية phylétiques أو شعبات (قبائل) phylums.

وهكذا نرى من خلال ذلك أن الأنواع ليست سوى حالات عابرة وأن الفرع الشعابي phylètique؛ أي «السلالة lignée» تتصف بوجود حقيقي. والفروع هي التي تؤدي، عندما لا تظل في الطريق، إلى الأنواع الحالية.



شكل ١٥٣ ــ سبيخات «بالودينات» البحيرات الثلاثية المشرقية. بعض النماذج: ١، Paludina Neumayri (طبقات القاعدة). ٥، Tulotoma Hoernesi (الطبقات الأحدث).

وفي ١٨٧٥ تمّ لأول مرة إيضاح أمثال هذه الزمر من الأشكال. ففي هذا التاريخ نشر نوماير Neumayr دراساته التي ظلت كلاسيكية عن السبيخات Paludines الموجودة في الطبقات المشرقية في سلافونيا في يوغسلافيا. والسبيخات هي

رخويات صغيرة معديات الأرجل منتشرة كثيراً، في أيامنا هذه، في المياه العذبة والتي كانت، في أواخر الحقب الثالث، ترتاد البحيرات الكبرى التي كانت توجد حينذاك في كل أوروبا الشرقية (شكل ١٥٣). وتُصادف أعداد هائلة من هذه القواقع في طبقات الغضار والرمل التي تحتل اليوم مكان هذه البحيرات الواسعة البائدة. وقد لاحظ نوماير، بعد أن تقصّى تطور هذه السبيخات، خطوة فخطوة، أن القوقعة كانت ملساء، في قاعدة الطبقات، ودون زخرفة خاصة. ولكن كلما تابع الإنسان هذه السبيخات في الطبقات الأعلى وجد قواقعها تكتسب زخرفة تتزايد أكثر فأكثر (ظهور حروف تتجهز تدريجياً بدرنات). وبالإضافة إلى ذلك، وبينما كانت تحدث هذه التحويرات، كان شكل السبيخات يتنوع بحيث أننا نجد، على المستوى نفسه، قواقع تختلف تماماً عن بعضها البعض. ولكن يبدو كل نموذج، وكأنه خاتمة فرع مؤلف من عينات ترتبط ببعضها بأشكال وسيطة[1] ابتداءً من قاعدة الطبقات المدروسة إلى قمتها، والتي تبلغ سماكتها هنا حوال مئة متر. وهكذا يمكن إذن صنع شجرة نسب حقيقية ذات أغصان متفرعة لهذه السبيخات، فضلاً عن أمر لا يقل أهمية، وهو إمكانية ملاحظة هذا التطور بالنسبة لرخويات أخرى تصادف في الطبقات هذه نفسها.

لقد نسبت أمثال هذه التبدلات الطارئة على مورفولوجية (شكل القوقعة الخارجي) إلى تحولات البيئة، الناتجة عن تجفف تدريجي في هذه البحيرات التي يزداد غنى مائها بفحمات الكالسيوم والتي أصبحت في البليوسين ضامرة الرقعة جداً.

ولكن ابتداءً من الآن يجب أن نلح على بطء تطور الكائنات لأن الأمر تطلب مضي ١٠٠٠٠٠ عام كي تتعدل أشكال السبيخات في الاتجاه الذي أشير إليه آنفاً.

وقد اتجهت دراسات واغن Waagen المعاصر لنوماير Neumayr على تبدلات **الآمونيات (oppetia) subradiatus**. فإلى جانب التبدلات في المكان، التي أدت إلى

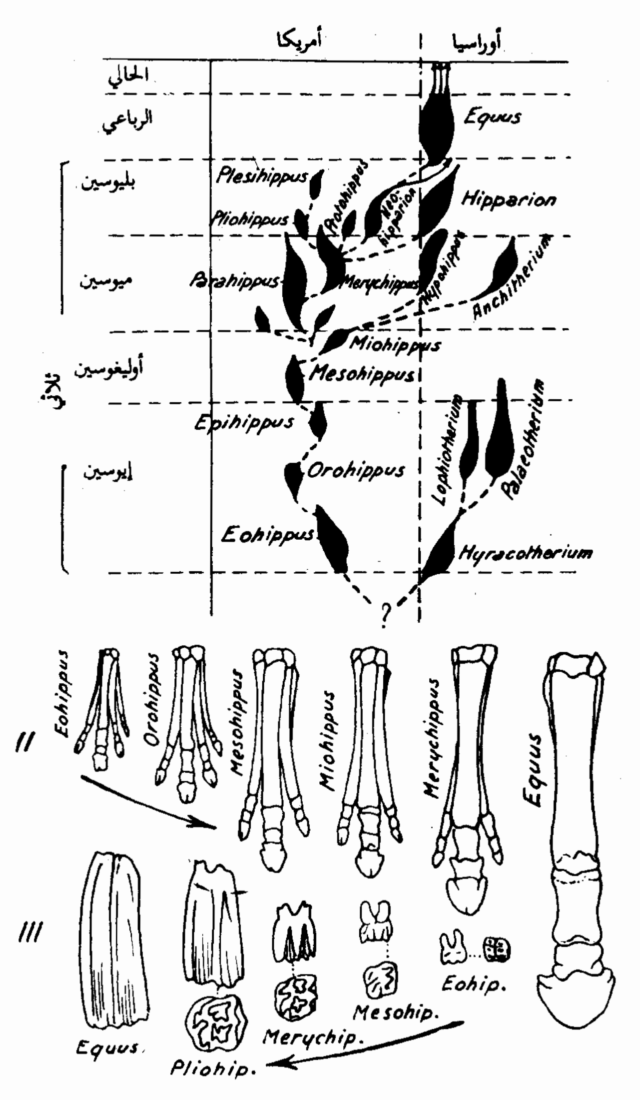
(١) يعتقد فرانز Franz الذي عكف على دراسة هذه المسألة من جديد أن عدداً من أشكال القواقع هذه يمكن تفسيره بالتهجين، مما يستدعي وراثة الصفات المكتسبة.

تفرُّد التشكيلات التي كانت تظهر من منطقة ما لأخرى، استطاع عالِم المستحاثات المذكور أن يبرهن أيضاً عن وجود تنوعات لا جدال فيها في المجال التأريخي تحدث حسب فواصل لا محسوسة في صفات القوقعة، والتي أعطاها اسم **طفرات mutations** ويتألف فرع شعابي إذن من عدد متفاوت في الكبر من أنواع ناتجة عن طفرة ترتبط ببعضها البعض بانتقالات لا محسوسة.

وعلى إثر نومابر **Neumayr** وواجن **Waagen** اندفع عدد من علماء المستحاثات نحو دراسة فروع شعابية **phylétiques** وهكذا أصبحنا نملك بالنسبة إلى اللافقاريات، سلاسل عديدة من أشكال مماثلة لأشكال السبيخات المشرقية. وينطبق الأمر نفسه على الفقاريات رغم أن الصعوبات التي يجب التغلب عليها تكون هنا أحياناً أكثر، بسبب شدة ندرة المستحاثات. ونحن لا نملك على العموم سوى بعض الإشارات من أجل إعادة تمثيل السلالات، لهذا تظل هذه الأنساب أحياناً فرضية وعرضة للأخذ والرد. وعلى كل حال نحن نعرف الآن بفضل الأبحاث الوئيدة، الخطوط الكبرى، للفروع الشعابية للخيليات **Équidées** (الخيول)، الفيلة، العملاقات **Tihanothères**، والكركدن، والجمال **Camélidés** وحتى الرئيسات **Primates** (شكل ٣٠٢).

وتؤلف شجرة نسب الحصان **(Equus)** إحدى نجاحات علم المستحاثات. وقد أمكن إعادة تأليفها في كل مجموعها تقريباً إستناداً إلى الوثائق التي نبشت من طبقات ثلاثية في أمريكا الشمالية (شكل ١٥٤).

وتبدأ الزمرة في الإيوسين بظهور الحصان القديم **Eohippus**، وهو حيوان صغير له قامة الثعلب، مجهز بأربع أصابع بالعضو الأمامي وبثلاث في العضو الخلفي، مع جمجمة متطاولة مجهزة بتسنن كامل. وابتداءً من هذا الجد الذي يعود إلى أكثر من ٥٠ مليون سنة تستمر الزمرة حتى العصر الحالي بنماذج وسيطة مثل الحصان **orohippus** (إيوسين أوسط)، والحصان الأعلى **Epihippus** (الإيوسين الأعلى)، والحصان الأوسط **Mesohippus** (أوليغوسين)، والحصان الأصغر **Miohippus**، وشبه الحصان **Parahippus** والحصان المجتر **Merychippus** والحصان الأول **Protohippus** (ميوسين)، وأخيراً الحصان الكبير **Pliohippus** (بليوسين)، وهذا الأخير أدى

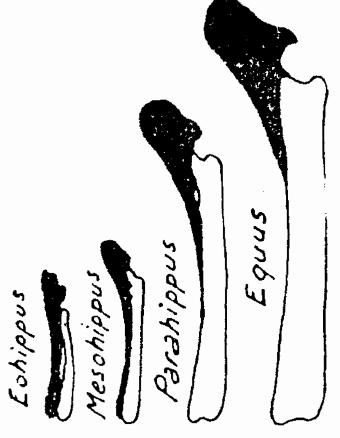


شكل ١٥٤ ــ **شجرة نسب الخيليات**. I، بحث شجرة نسب الحصان في أمريكا. مثال عن شجرة نسب جيدة التأليف تظهر فيها الهجرات الأوراسية. وتمثل الأوراق السوداء المستحاثات الملحوظة، وثخانتها متناسبة مع انتشارها. أما الخطوط المتقطعة فتشير إلى علاقات شجرات النسب بين مختلف الأشكال. II، تطور العضو الأمامي لدى الخيليات: عضو رباعي الأصابع يصبح ثلاثي الأصابع وأخيراً وحيد الإصبع وذلك بالتطاول تدريجياً وزيادة حجمه. III، تطور الضرس العلوي عند الخيليات: من ضرس قصير (مسطح) و bunodonte (درنات)، يتطاول هذا الضرس ويصبح ضرساً عميقاً وطاحناً.

بالنهاية إلى **Equus** منذ البليوسين الأعلى . وبينما كانت هذه الزمرة تتكامل محلياً كانت تشتق عنها هجرات ، كتلك التي أدت إلى نشوء فرع **Anchitherium** ابتـداءً من حصان **Miohippus** وإلى ما يسمى **Hipparion** ابتداءً من حصان **Merychippus** . ولقد انتشرت هذه الهجرات في أوراسيا أو في أمريكا الجنوبية ، حيث لم تتجاوز أبداً الحقب الثالث . أما حصان **Equus** ، فبينما كان يندثر في خلال نهاية البليوسين في أمريكا ، كان يدفع تيارات قوية ابتداءً من ذلك العصر نحو آسيا وأفريقيا وأوروبا كي يعطي الحصان[1] ، والحمار ، والحمار الوحشي ، والحمار المخطط **Zébre** .

وفي هذه السلسلة الرائعة من الأشكال ، التي يؤدي فيها حصان الفجـر **Eohippus** إلى الحصان ، نلاحظ تزايداً تدريجياً في القامة ، في حين أن بعض العظام (المرفق . الشظية) والأصابع الجانبية كانت تضمر إلى أن تتلاشى ، كما أن العنق والوجه يتطاولان والتسنن يضمر (اختفاء الأنياب) ويتجانس ، الأضراس تصبح عالية جداً ومتماثلة (شكل ١٥٤ ، II و III ، وشكل ١٥٥) .

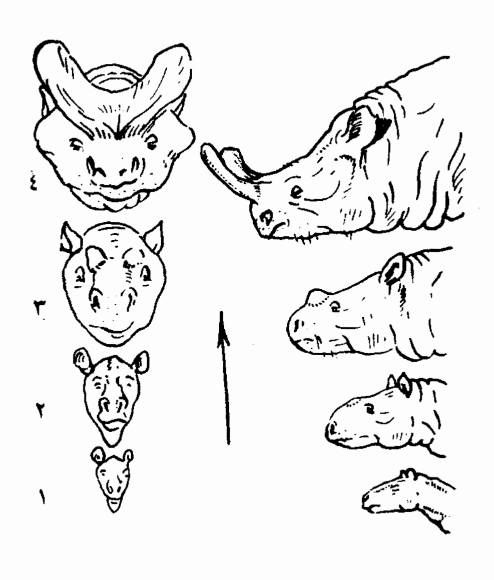
وهكذا يبدو إذن أن التطور يتم هنا في اتجاه معين كما لو أن الظاهرة ، كانت منذ البدء ، موجّـهة حتى ختامها . وقد لاحظنا سابقاً ظاهرة مماثلة مع نشوء الجؤجؤ ونموه عند قواقع السبيخات .



شكل ١٥٥ ــ **بحث شجرة نسب الحصان**. ضمور تدريجي في عظم الشظية (أسود) ونمو في الوقت نفسه لعظم المرفق عند أجداد الحصان .

(١) من المعروف أن الحصان لم يكن موجوداً أبداً في أمريكا عند وصول كريستوف كولومب ، وبعد فترة أدخله الاسبان من جديد إلى تلك القارة .

ونستطيع من دراستنا الفروع الشعابية عند الجبارات **Titanothéres** والكركدنيات أن نلاحظ أن بروز القرون كان لديها أيضاً، عبارة عن ظاهرة تدريجية (شكل ١٥٦) بعد أن كانت مفقودة في البدء، وعند الجدود الأوائل، ظهرت القرون، بشكل متواضع بالبدء، ثم أصبحت ضخمة عند أواخر ممثلي الفروع. كما أنه لم يكن للفيلة دائماً خرطوم وأنياب عاجية وكانت أضراسها الضخمة نادرة، مثلما أن الزرافات والجمال لم تحصل على رقبتها الطويلة وقوائمها المخلّعة إلّا خلال عدة آلاف السنين.



شكل ١٥٦ ـ سلسلة تطورية مستقيمة الاتجاه عند جبارات Titanothéridés\الحقب الثالث الأمريكي. ١، Eotitanops borealis (إيوسين أسفل). ٢، Mantoceras mantoceras (إيوسين أوسط). ٣، Protitanotherium emarginatum (إيوسين أعلى). ٤، Brontotherium platyceras (أوليغوسين أسفل) (عن Osborn).

وعلى هذا الشكل من التطور يطلق إسم التكوين المستقيم **orthogènèse**. وإذا كان ذلك يخرج عن مجال العالم البيولوجي، المتقيّد بملاحظة العالم الحي، فإنه، على العكس، يعتبر القاعدة الكبيرة لتطور الشعبة **phylums** (السلسلة التطورية للأشكال الحيوانية والنباتية)، وبما أن كثيراً من الشعاب تؤدي إلى أنواع حالية، فينتج عن ذلك أن التطور، يعتبر من وجهة نظر عالم المستحاثات تكويناً مستقيماً.

ويبدو أن هذا التكوين المستقيم، الذي هو إحدى أكثر الظواهر المحيّرة التي اعترضت علم المستحاثات، والذي لم يستطع حتى الآن أن يحظى بتفسير مرض،

يخضع إلى عدد من القوانين التجريبية. هذه القوانين التي أقيمت على دراسة الشعبة (الفيلوم) لدى الفقاريات المستحاثة يمكن تطبيقها أيضاً على اللافقاريات.

وقبل كل شيء يمكن أن يكون التكوين المستقيم تقدمياً أو متقهقراً. فهو تقدمي إذا أ.ى إلى نمو، وإلى تعقيد بعض الصفات كتزايد عدد الأصابع لدى الزواحف السابحة (ichtyosaure)، ومتقهقر إذا أدى، على العكس، إلى تبسيط أو حتى إلى تلاشي بعض الأعضاء. وهذا هو حالة التحول الذي أصاب الحافريات ابتداءً من القدم الكثيرة الأصابع كي ينتهي إلى قدم وحيدة الإصبع عند الحصان. وإجمالاً قد ينجم عن تحويرات كهذه نتيجة مفيدة؛ أي نجاح، يجعل الكائن أفضل تواؤماً مع تلك الوظيفة أو مع تلك البيئة، ولكن التكوين المستقيم قد يؤدي أحياناً إلى نتائج غير معقولة عندما يكون مفرطاً، كأن تتحول القواطع إلى سيوف كما عند **Machairodus**، ومثل الأنياب الضخمة المحنية للخلف، كما عند الماموت، كما أن القرون المعقدة عن بعض الأيّـليات Cervidés لا معنى لها **لأول وهلة**. وهكذا يؤدي التكوين المستقيم دائماً إلى نوع من التخصص، متقدم نوعاً ما، وهذا هو **قانون التخصص التدريجي عند الفروع الشعابية (الفيليتية)** (Depéret).

ولكن يلاحظ أن أية مجموعة مندثرة أو أي عضو ضامر لا يظهر مرة ثانية، لأن التكوين المستقيم المتقهقر لا يعيد نفسه irréversible ومن ذلك **قانون لا معكوسيّة الأعضاء** الذي قدمه Dollo.

ومن جهة أخرى فإن النماذج القابلة لتطور لاحق هي النماذج العضوية التي تعتبر غير متخصصة أبداً، وبالواقع، بما أن هذه النماذج مرنة وبسيطة، فإنها ستكون متعرضة إلى طفرات هامة، أكثر من النماذج الأخرى، من وجهة النظر الفيلوجينية أي تاريخ تطور السلالة [1]. وليست طلائع هذه الفروع محفوظة إلّا بشكل استثنائي لأن بعض

(١) الفيلوجيني Phylogénie أو تاريخ تطور السلالات أو Phylogenése أو تكوين السلالات هو البحث عن شجرة نسب العضويات.

النماذج وحدها هي التي تعرضت إلى طفرات هامة. وهذا القانون الجديد، الذي قدمه كوب Cope هو **قانون عدم تخصص أنواع الأرومة عند القبائل (الفيلوم)**[١].

ولقد سبق لنا أن رأينا أن كل الفروع التطورية السلالية تتميز بتزايد تدريجي في القامة، منذ الأشكال الصغيرة الطلائعية حتى الأشكال الجبارة التي تنتهي عندها أحياناً. **وقانون تزايد القامة** هذا الذي عممه دوبيريه Depéret، ينطبق على اللافقاريات كما ينطبق على الفقاريات. وهكذا نجد أن جبابرة العالم العضوي هي إذن نهايات فروع، قريبة من اندثارها. تلك هي حالة حوت البالينة، والنعامة، والفيلة[٢].

وأخيراً هناك قانون أخير هو **قانون الهجرات** القائل بأن تطور فرع سلالي فيليتي phylétique يندر أن يتم محلياً.

وفي غالب الأحيان، وهذا يصح خاصة بالنسبة للفقاريات، هو أن تطور فرع ما، بدأ في منطقة ما، يتم في منطقة أخرى، بعيدة جداً أحياناً، على أثر تدخل هجرات كبيرة (وقد استشف أهمية هذه الهجرات العالم Cuvier)[٣]. ولقد قدم لنا تاريخ الحصان، آنفاً، مثلاً طيباً، لأنه ابتدأ في أمريكا واكتمل في أوراسيا. كما يكون تاريخ الإبل مماثلاً. أما الخرطوميات التي كانت مصر مكان ظهورها، في مطلع الحقب الثالث، فقد انتشرت في كل أفريقيا، وأوروبا وأوراسيا منذ الميوسين، وحتى في أمريكا. وهكذا يمكن تفسير الظهور الفجائي، في منطقة ما، وفي فترة معينة، لأنواع تسمى **خفية المنشأ cryptogènes**.

وإذا قبلنا، مع غوفروا سان هيلير Geoffroy Saint-Hilaire، أن تاريخ نمو وتطور فرد ما (تكوّن الفرد ontogénie) هو عرض موجز قصير، مقتضب أحياناً، لتاريخ فرعه (فيلوجينيا Phylogénie)[*]، استطعنا التعرف على الخدمات الجلّى

---

(١) Phylums سلسلة تطورية عند الأشكال الحيوانية أو النباتية (القبائل).

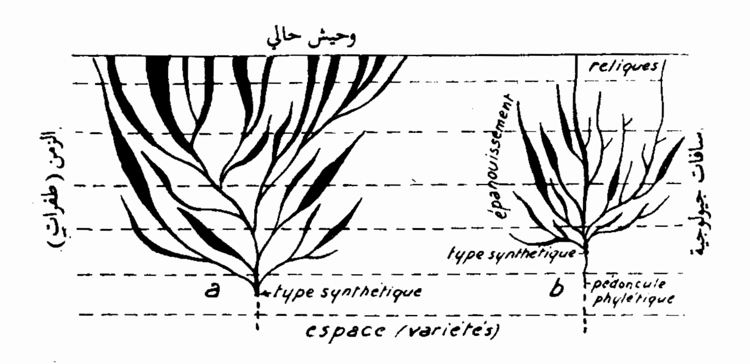
(٢) هذه الجبابرة هي أيضاً أشكال نادرة متناثرة على وجه الكرة الأرضية. غير أن مجموعة القوارض ذات الأشكال الصغيرة التي لا تحصى، هي في طريقها لاجتياح العالم.

(٣) تكون هذه الهجرات أحياناً على علاقة بتبدلات جغرافية ناجمة عن حركات الأرض.

(*) بحث تشكل وتطور ونمو الأنواع النباتية والحيوانية.

التي يمكن لعلم المستحاثات أن يقدمها إلى علم البيولوجيا العام وذلك بإعادة تمثيل الفروع السلالية phylétiques التي لا تكون خاتمتها سوى أنواع الوحيش والنبيت الحاليين.

وكما هو الأمر بالنسبة للأفراد فإن للفروع السلالية حياة وديمومة متفاوتة في طولها (شكل ١٥٧). فخلال طور شبابها لم تكن ممثلة إلّا من قبل أشكال صغيرة غير مختصة. أما الطفرات التي لا تحصى، وهي أرومة الفروع rameaux، القادرة على التواؤم مع أكثر البيئات تنوعاً، فلم تحصل إلّا في المرحلة التالية أو في مرحلة النضج. وقد تمتد



شكل ١٥٧ ــ نموذجين لشجرتي نسب (سلالات Phylums). a، مجموعة في عنفوان ازدهارها. b، مجموعة تضاءلت حالياً إلى بقايا أو شواهد.

فترة الازدهار هذه لمدة طويلة نوعاً ما، ولكنها متبوعة بفترة كهولة أو هرم تندثر خلالها الفروع المفرطة في تخصصها، في حين تستطيع بعض الأشكال النادرة أن تستمر وأن تعطي بقايا reliques. وفي خلال هذا الوقت، تستطيع فروع أخرى سبق لها أن انفصلت عن الأولى، ولكن كان تطورها أكثر بطأً، أن تزدهر بدورها، وأن تتبع أحياناً تطوراً موازياً، وأخيراً أن تحل محلها فروع جديدة أقل تطوراً ومتصفة بحيوية أكثر قوة. وهكذا منذ أن ظهرت الحياة على الأرض كانت الفروع السلالية تتعاقب وتتناوب إلى ما لا نهاية، وهي تحث العناصرَ الناجحة الظافرة وتهمل الفاشلة. ولكن تبرهن محصلة كل هذه التكوينات المستقيمة، إجمالاً، أن التطور هو في تقدم مستمر وأنه يتجه نحو نوع من عتبة لا يمكن أن يتجاوزها بسبب إفراط التخصص.

ولكن يكون تطور الفروع السلالية دائماً بطيئاً جداً، وأنه لأمر أثبتته الملاحظة وهو أن التحولات الهامة لا تستطيع أن تظهر إلّا بعد تطور يمتد على عدة أدوار جيولوجية.

ولقد رأينا أنه من الضروري مرور ١٠٠٠٠٠ سنة كي تكتسب قوقعة ملساء من السبيخات سلسلة من الحروف وأن **الحصان القديم Eohippus** لم يصبح الحصان المعروف إلّا بعد ٥٠ مليون سنة على الأقل. وقد تطلب تطور مجموعة الأمونيات الكثيفة كل الحقب الثاني، أو ما يعادل ١٣٥ مليون سنة، كما أن بعض الفروع كفرع لنغولات **Lingules** قد تحولت بالكاد منذ الحقب الأول حتى أيامنا هذه! وعامل الزمن يلعب إذن هنا دوراً عظيماً ولا حاجة لأن نلح عليه بكثرة، لأنه يبدو مؤكداً أن الصفات الجسمية التي طبعها تأثير البيئات الخارجية تستطيع، مع الزمن، أن تتسجل في خلايا الوراثة وتصبح وراثية، وإلى حالة كهذه يتجه معظم تطور الكائنات بتأثير عوامل البيئة.

ولنلاحظ أيضاً أن هذا الزمن الفيزيولوجي، الذي يحوّل والذي يخلق، يختلف تماماً عن الزمن التراجعي عند علماء الرياضيات.

٦ ــ علم المستحاثات والتطبق (ستراتيغرافي)

I ــ فائدة المستحاثات

إن علم المستحاثات هو العضد الإلزامي لعلم التطبق، لأنه يقدم لهذا العلم المقياس التأريخي الدقيق الذي لولاه لما وُجد هذا العلم المذكور. وهنا لا حاجة لدراسة مستحاثات جيدة الحفظ، بل تكفي كسرات بسيطة، حاوية على صفات تمييزية، في أكثر الأحيان، لإعطاء معلومات تطبقية هامة.

فعندما ندرس، في منطقة معينة، تعاقب الطبقات والمستحاثات التي تضمها، نستطيع أن ندرك أن المستحاثات ليست جميعها متماثلة وأنها إذا ما تشابهت في طبقة

معينة وتجمعت في أنواع كبرى، فإنها تتباين غالباً في الطبقات المتعاقبة. وهكذا نستطيع أن نميز **في منطقة معينة** طبقات بواسطة بعض المستحاثات، وحتى في حالة فقدان كل تحديد دقيق لهذه المستحاثات.

بيد أن توزع المستحاثات هذا قد نصادفه على مساحات كبيرة وقد يفيدنا في تصنيف تعاقب الطبقات الملحوظة في منطقة مجاورة. وبذلك يمكن إقامة التوازي بين الصخور ولا سيما إذا لم تتعرض طبيعة الطبقات، وسحنتها كما يقال، للتغير. وبالواقع تستطيع بعض التعديلات في السحنة أن تؤدي إلى تبدلات في المستحاثات، وعلى كل فإن بعض الأنواع، التي تسمى العمومية الانتشار، تستطيع أن تترك بقاياها، فتقدم بذلك خدمات جلّى من أجل إقامة تأريخات عن بعد.

لكن كل المستحاثات ليست بالتالي مفيدة لعالم طبقات الأرض، ومن وجهة النظر هذه يجب التمييز بين المستحاثات الجيدة وبين المستحاثات الرديئة ومستحاثات السحنة.

فالمستحاثات الجيدة، التي لا تزال تسمى **المستحاثات المميِّزة**، هي التي تكون فترة وجودها قصيرة والتي تظهر وتختفي في عصر جيولوجي (مثل **Stringocephalus** و **Uncites** في الديفوني)، أو التي كان وجودها متطاولاً، ولكنه غني بالتغيرات. ومن بين هذه المستحاثات الأخيرة فإن أفضلها هي التي كانت قادرة على التنقل بسرعة (كالسابحات الجيدة مثل الأمونيات، والفقاريات العدّاءة) وعلى أن تجتاح في وقت معين رقعة كبيرة بحرية أو قارية، تبعثرت فوقها بقاياها. وقد قام علم تطبق العصر الثاني على مناطق انتشار الأمونيات، كما تعتبر الثدييات كمستحاثات ثمينة بالنسبة لدراسة الثلاثي (أو الثالثي).

أما **المستحاثات الرديئة**، فهي على العكس، تلك التي استمرت دون تغيير يستحق الذكر عبر العصور مثل اللنغولات Lingules الكامبرية التي لا تختلف كثيراً عن الأنواع الحالية [1].

(١) وهذا ما يدل على ثبات متطاول كثيراً في شرائط البيئة.

وأخيراً تعتبر **مستحاثات السحنة** تلك التي يتحدد وجودها بمجموعة من العوامل الجغرافية والبيولوجية الخاصة. وهكذا فإن المدخات (polypiers) لا تستطيع العيش إلا في شرائط معينة على عمق لا يتجاوز ٦٠م في مياه قليلة الحركة وحارة نسبياً (السحنة الرصيفية). ولكن بما أن كثيراً من مستحاثات السحنة قد تطورت (لأن الأرصفة وجدت في الحقب الأول، ولكن المِـدْخات ومؤاكلاتها لم تكن مماثلة تماماً لمدخات العصر الثاني أو العصرين التاليين). لذا ندرك لماذا يمكن استخدامها لإقامة السلالم التطبقية. وفضلاً عن المدخات، تقدم المنخربات و روديست، وبعض النباتات، أيضاً، خدمات كبرى.

كما تقدم مستحاثات السحنة أيضاً معلومات عن شرائط التوضع (سحنة بحرية سحنة مياه مالحة، قارية أو بحيرية) وعن عمق البحر، وعن قرب الساحل... إلخ.

وإجمالاً، تقدم المستحاثات لعالم التطبق خدمات تعادل المداليات والنقود بالنسبة للعالم الأثري. فهي تسمح بالتوجه ضمن متاهة الطبقات الجيولوجية وعلى إقامة تصنيف ممكن لهذه الطبقات وذلك بإدخال مفهوم العمر النسبي. وقد قادت الأبحاث الدقيقة التي قام بها دورbيني D'Orbigny إلى أن يميِّز في زمرة الطبقات الرسوبية ٢٧ انقساماً كبيراً سماها **طوابق étages**، متميزة بمستحاثات خاصة. ولا تزال هذه الطوابق أساس تصنيفنا الحالي. وقد أظهرتِ دراسات أكثر تفصيلاً أن طوابق دوربيني يمكن تقسيمها إلى **نطاقات استحاثية أو باليئونتولوجية Paléontologiques** (نطاقات الأمونيات لدى أوبل Oppel والذين خلفوه) وأحياناً أمكن تقسيمها إلى وحدات أكثر صغراً تمثل فواصل زمنية أقصر (مثل **hemeræ** بوكمان).

ولكن معظم علماء المستحاثات الطبقيين يرون أن النطاق الاستحاثي هو أفضل تقسيم من الناحية العملية، والذي تكون الحقيقة فيه أفضل ملاحظة. وتعريفه هو سمك الطبقات التي يجتازها وحيش واحد دون أن يخضع لتعديلات. ونستعمل عن عمد عبارة وحيش لأن تحديدات العمر إستناداً إلى مستحاثة واحدة تظل دائماً عرضة للشك نوعاً ما. وحينئذ نقول أن منطقتين استحاثيتين حاويتين على المستحاثات نفسها هما معاصرتان. ولكن قد يصدف أحياناً أن نجد وحيشين **faunes** معاصرين

غير متماثلين، وعندها يصبح من اللازم البحث عن مستحاثات السحنة وذلك بالقيام بعناية بدراسة مناطق تداخل السحن التي تستطيع وحدها إقامة التعادلات بين السلالم الاستحاثية.

وتسمح مفاهيم التأريخ هذه، والمطبقة على انتشار ونمو الوحيشات والنبيتات، بأن نكشف عن معلومات قيمة من توزع الأشكال في الزمان، كما سنرى بدراسة تظاهرات الحياة خلال العصور الجيولوجية.

وهناك أمر يقفز للعيان لأول وهلة، وهو أن ظهور مختلف المجموعات لا يتم عن طريق الصدفة، بل يتبع نظاماً هو نظام التكامل التدريجي. وهكذا ظهرت اللافقاريات وتكاثرت قبل الفقاريات في طبقات ما قبل الكامبري. ومنذ الكامبري أخذت كل شعب اللافقاريات بالظهور. ومن بين الفقاريات كان ظهور الأسماك قبل الضفدعيات، التي سبقت، خلال الحقب الأول، ظهور الزواحف التي انتشرت خلال الحقب الثاني. ثم جاءت الطيور (مثل Archæopteryx الذي ينتسب للجوراسي الأعلى) التي تميزت وتفرّدت جيداً حوالي أواخر الكريتاسي، وأخيراً ظهرت الثدييات جيداً ابتداءً من الكريتاسي. ولا تعدّ بعض فروع الزواحف والضفدعيات الحالية شيئاً مذكوراً إذا قمنا بالموازنة مع الأشكال التي لا تحصى والتي سكنت أرضنا واجتاحت كل البيئات خلال العصور البائدة.

هذا كما يقدم العالم النباتي وقائع مماثلة: فقد سبقت خفيات الإلقاح ظاهرات الإلقاح التي كان ظهور عاريات البذور بينها نذيراً بظهور مغلفات البذور. وسيكون من السهل البرهنة، بالنسبة لكل المجموعات الكبرى المذكورة، على أن ظهور الرتب والفصائل قد تم في نفس الاتجاه.

II ــ الحيَاة في العصر السابق للكامبري

لا يقدم الجزء الاستحالي من هذه الأراضي، والمعروف تحت اسم الآركي،

لا يقدم أي دليل قاطع عن وجود مستحاثات، ولكن الصخور غير الاستحالية المتطبقة، والتي تنسب إلى السابق للكامبري (أو الآلغونكي)، تكشفت عن بقايا عضوية، سواء في أوروبا أو في أمريكا، بقايا تمثل عدة شعب من اللافقاريات (شعاعيات، معائيات الجوف، منخربات، إسفنجيات، قشريات، الزنبقانيات ورخويات) تعتبر راقية من حيث النظام، ونباتات دنيا (كالبكتريات، والطحالب والاشنيات الخضراء التي تعيش في البحر أو في الماء العذب وفي الترب الرطبة). غير أن ذلك لا يمثل بالواقع أكثر من قسم هزيل من وحيش ونبيت ذلك العصر، المتباعد عنا بحوالي مليار عام.

ونستخلص من ذلك أن الحياة مغرقة في القدم ولكن المسألة الإستحاثية (الباليونتولوجية) المتعلقة بظهورها ربما ستظل دائماً بالنسبة لنا كلغز لا يمكن حلّه بسبب الإستحالة العامة التي شوهت بشكل شامل أساس القشرة الرسوبية [1].

III ـــ النبيت والوحيش في العصر الأول

لم يتطور العالم النباتي خلال الكامبري أبداً وظل مائياً. فقد تكاثرت بعض الطحالب algues الدنيا، كما أدت ترصعاتها (ستروماتوليت) إلى تشكل كتل هامة من الصخور الكلسية (شكل ١٤٩، d). غير أن العالم الحيواني تكامل ويمكن القول أن الإطارات الكبرى للتصنيف وجدت منذ ذلك العصر. وبالتالي يبدو أن الطور الرئيسي؛ أي الطور المسؤول عن تميّز وتفرُّد هذه المجموعات الكبرى، قد تحقق قبل الكامبري، وربما خلال ما قبل الكامبري.

ومن وجهة النظر التطبقية، فإن معظم المجموعات الحيوانية، وكلها بحرية، كانت ممثلة فيه بواسطة أشكال لا تحوي على كبير أهمية، كذلك الأمر بالنسبة للمنخربات، والإسفنجيات، والمدوسات، وشوكيات الجلد (مثانيات، زنبقانيات)

(١) وهذا ما سبق أن جعل هوتّون يقول: «لا نجد في ظاهرات الطبيعة أثراً عن بداية ولا إشارة عن نهاية».

وصفيحيات الغلاصم، ومعديات الأرجل والديدان. غير أن بعض المكامن تمتاز بجودة حفظ مستحاثاتها. تلك هي حالة مكمن بورجس Burgess الشهير في انكلترا، حيث أشار العالم والكوت إلى وجود ديدان وقثائيات البحر التي تكون أقسامها الرخوة مصانة بأدق تفاصيل تركيبها (شكل ١٣٣، b).

غير أن هناك ثلاث مجموعات تأخذ فيها أهمية تطبقية كبيرة وهي: Archaeocyathidés وعضديات القدم وثلاثيات الفصوص. فالأولى هي أشكال خداعة، تُضم حالياً للإسفنجيات، وكانت تعيش على شكل مستعمرات (شكل ١٢٩، h). وقد كانت أرصفتها تستوطن بحار الكامبري الأدنى والأوسط في العالم قاطبة: وتكون الصخور الكلسية ذات **Archaeocythus** هي بالأساس صخور مميزة لهذه العصور.

أما عضديات الأرجل الكامبرية فتعتبر أكثر المجموعة بدائية وتنتسب إلى عديمات المفاصل inarticulés. وتتألف من Lingules ومن **Obolus** (شكل ١٣٢ c) والتي يعثر عليها بكثرة في بعض التشكلات الصخرية الرملية الساحلية.

أما ثلاثيات الفصوص فإن دورها التطبقي يبدو هنا، ومنذ ظهورها الغزير، مكان الصدارة. فكثير منها يكون كامبرياً خالصاً (شكل ١٣٥). تلك هي **أجناس** **Olenellus** (بوتسدامي)، **Paradoxites** (آكادية)، **Olenus** (جيورجي)، **Sao**، **Conocoryphe**، **Dikelocephalus**، **Ellipsocephalus** (إهليلجيات الرأس)، **Agnostus** و **Ogygia** التي دامت أيضاً في السيلوري.

فبعض الأجناس استخدمت لتمييز الطوابق وكثيراً منها تعرّف نطاقات استحاثية، وخاصة في اسكندينافيا، حيث أمكن إقامة ١٥ نطاقاً عثر عليها جزئياً في انكلترا، وفي أمريكا الشمالية. وقد سمحت بعض الأجناس بتوضيح مقاطعات مناخية في الكامبري. ولنذكر أخيراً ظهور بعض القشريات مثل أوائل الجبابرة في أمريكا، في سحن بحرية.

وفي السيلوري، اجتاز النبيت خطوة للأمام، ومع أنه لا يزال غير معروف تماماً، فإنه يسمح بالافتراض بأن خفيات الإلقاح الوعائية ظهرت فيه. ويظهر أن الهجرة العابرة؛ أي انتقال النباتات البحرية إلى الحياة الأرضية عن طريق التوائم التدريجي، كانت أمراً واقعاً. أما بالنسبة للوحيش، فقد تـمّ انفجار حقيقي للأشكال، كذلك لدى كل المجموعات الكبرى من الكائنات البحرية. لذا سنتحاشى إذن، ابتداءً من هذا العصر، سرد كل المجموعات الممثّلة وسنكتفي بذكر تلك التي قدمت مستحاثات مميّزة.

ويجب أن نذكر، من بين اللافقاريات الدنيا، المدخات Polypiers (شكل ١٣٠) الممثلة بواسطة المرجانيات الرباعية **(Cyathophyllum, Zaphrentis)** التي تنتسب للحقب الأول حصراً، واللاحشويات Alcyonaires والمائديات Tabulés **(Favosites, Halysites)** وأخيراً ألـ Stromatoporoïdés. وكل معائيات الجوف هذه، التي تعتبر أكثريتها كمستحاثات جيدة، هي من ناحية أخرى، بنّاءة أرصفة مرجانية وساهمت بتشكيل الصخور الكلسية في كل أجزاء الكرة الأرضية، لأن توزع الأرصفة كان في ذلك العصر مستقلاً عن الشرائط المناخية. وأجمل الأرصفة السيلورية هي الموجودة في جزيرة غوتلند بالسويد (غوتلندي).

وهناك معائيات جوف أخرى، أكثر أهمية أيضاً، هي الغرابتوليت Graptolithes (شكل ١٣٠، i-j)، التي تثقّب عيدانها الصغيرة المسنّنة، بواسطة أنقاضها، السحن الشيستية السيلورية. ويمكن القول أن هذه هي عبارة عن مستحاثات سيلورية حقيقية. وبما أنها تخص الأعماق البحرية، لذا سيكون توزعها الجغرافي كبيراً وبما أن تبدلاتها قد تعاقبت بسرعة كبيرة جداً في الزمن، لذا فتعتبر مستحاثات ممتازة على الصعيد النطاقي: وهكذا أمكن تحديد ١٥ نطاقاً في الأوردوفيسي و ١٦ في الغوتلندي في سكانيا، كما أمكن العثور على كثير منها في باقي أوروبا وحتى في أمريكا وأستراليا. وتظهر ابتداءً من قاعدة السيلوري (الأوردوفيسي) وهي أشكال خاصة نوعاً ما، من شبكيات **rèticulés** وأشباه الشجريات dendroïdes **(Diplograptus)**، ثم تظهر في باقي الأوردوفيسي أشكال تحمل

أسناناً صغيرة (Loges) على طرفي المحور (Diplograptus)، ونماذج يتصف محورهـا بالتشعب (Didymograptus)، أو مسطح (Phyllograptus). أما الأشكال البسيطة التخطيطية، فلا تصادف إلّا في السيلوري الأعلى (غوتلندي) (Monograptus).

ومن بين شوكيات الجلد، انتشرت الزنبقانيـات بشكـل كثيـف، وبـراري الزنبنانيات هي التي تقع في قاعدة الكلس ذي الأنتروك الذي يُعثر عليها فيه.

أضف إلى ذلك أن المثانيات (Echinosphaerites) (شكل ١٣١، j) تكون نامية جداً في هذه الفترة وخاصة في السيلوري الأعلى، ولكن أخينوسات (قنفذيات) oursins، فرغم وجودها، لم تكن قد وصلت بعد إلى توسعها.

وقد تكاثرت مجموعة عضديات الأرجل في السيلوري وأعطت الكثير من الأنواع لمميـزة وخـاصة من أجنـــاس Obolus، Atrypa، Pentamerus، Conchidium، Spirifer، Chonetes و orthis ... إلخ، أما اللنغولات فتعتبر على الغالب مستحاثات سحنة. وينطبق الأمر نفسه بالنسبة لبداية ثلاثية الفصوص، كما أمكن تحديد نطاقات استحاثية عديدة استناداً إلى أنواع من جنس Trinucleus، بالنسبة للسيلوري الأسفل (شكل ١٣٤). هذا وتملك أجناس سيلورية خاصة الالتفاف حول ذاتها مثـل: Calymene، Asaphus، Phacops، كما بلـغ بعضهـا أحجامـاً كبيرة جداً مثـــل Illaenus، Asaphus مثـلاً. وكان معظمهـا من الحفّـارات وتصادف في السحـن الشيستية ولكن عثر على بعض منها، مع ذلك، في السحن الساحلية مثل صخور الحث والصخور الكلسية. وعلى كل تشير نهاية السيلوري إلى تقهقر واضح في مجموعة ثلاثية الفصوص مع استمرار الجبابرة أو العقربيات (شكل ١٣٦، a و b).

ومن بين الرخويات يستخدم نوع واحد من ذوات المصراعين في التطبق وهي Cardiae interrupta، والتي تكثر في الصخور الكلسية الغوتلندية (شكـل ١٣٧، m). ولكن رأسيات الأرجل انتشرت كثيراً في صخور هذا العصر وبلغت فيه ذروتها مع ظهـور Nautiloîdes (Orthoceras, Cyrthoceras، Lituites ... إلخ) (شكـل ١٣٩). بينما ظهرت فيه أشباه الأمونيات بشكل متواضع مع جنس Agoniatites، وهو

حد ألـ Goniatities ، كما أن معديات الأرجل لا تتمثل في هذا العصر ، كمستحاث قابل للاستخدام ، سوى جنس **Conularia** .

وأخيراً ظهرت في السيلوري الأعلى أوائل الأسماك وهي أشكال مصفّحة بدائية جداً تنتسب إلى جنس قوقعيات الجلد .

ولا زالت الحياة تتكاثر في الديفوني ونحن مضطرون أن نختار من بين الأشكال المستحاثة ، أكثرها أهمية من الناحية الطبقية أو تلك التي لعبت دوراً في تشييد الرسوبات . وقد استأنفت مجموعة عديدات الأرجل تطورها فكانت ممثلة بواسطة المرجانيات الرباعية ، التي تستخدم بعض أجناسها كدليل تطبقي مثل **Calceola** مع النوع التقليدي **Calceola sandalina** (شكل ١٣٠ c) في الإيفيلي Eifèlien . هذا وتضم الـ Tabulés (من الجوفمعويات) أيضاً بعض الأنواع المميزة مثل : **Pleurodictyum Problematicum** (شكل ١٣٠ ، e) المحصورة في الكوبلنزي . أضف إلى ذلك الغرابتوليت ، باستثناء بعض أشكال أشباه الشجريات .

وإذا كانت القنفذيات (الأخينوسيات) oursins والمثانيات والبرعمانيات ، وهي جميعاً من شوكيات الجلد ، قد تعرضت إلى تناقص ؛ فإننا نرى أن الزنبقانيات ظلت دائماً مهيمنة وبرزت منها النجميات Astèrides . ونجد هنا معظم أجناس عضديات الأرجل السيلورية ولكنها تكون ممثلة بواسطة أنواع مختلفة ومميزة وخاصة من بين Spirifers . وهناك جنسان وهما **Stringocephalus** و **Uncites** يعتبران خاصين بالتشكلات الرصيفية الديفونية (شكل ١٣٢ ، f و g) .

وتستحق الرخويات إشارة خاصة . فإذا كانت صفيحيات الغلاصم ومعديات الأرجل لا تضم أشكالاً هامة فإن رأسيات الأرجل قد شهدت نمواً باهراً في ذلك العصر . ولم نعد نجد Orthocères حقيقية ، كما أن ألـ Nautiloïdes لم تعد ممثلة إلا بأشكال خصوصية جداً مستقيمة **(Gomphoceras, Phragmoceras)** ، ومقوسة **(Cyrthoceras)** أو حتى ملتفة **(Gyroceras)** . كما أخذت أشباه الأمونيات بالانتشار إبتداءً من الديفوني الأوسط ، بحيث استخدمت الأشكال البحرية الملساء منها ، مثل

Goniatites، في إقامة النطاقات الاستحاثية. ومن بين الأجناس البديعة من ألـ Goniatites، نذكر **Agoniatites**، **Anarcestes** و **Parodiceras** من الديفوني الأسفل والأوسط و **Gephyroceras** في الديفـــــوني الأعلى (أن نوع **G.intumescens** هو مستحاثة نطاق عالمي). وهناك أشكال أخرى مثل Clyménies تميز خاصة الفامنّـي Famennien الأعلى في أوروبا.

ويبدأ انحطاط ثلاثية الفصوص مع الديفوني: غير أن فصيلة واحدة ظلت سائدة هي عائلة Phacopidés **(Dalmanites, Phacops)** (شكـل ١٣٤، e و f) وجنس واحد يعتبر حقاً مميزاً للديفوني، وهو جنس **Cryphaeus**. ولكن هناك قشريات أخرى أخذت تنتشر فجأة وهي أشكال جبارة ظهرت في الكامبري وتنتسب إلى فصيلة المحارات الجبابرة (**Eurypterus** و **Pterygotus**) (شكل ١٣٦) متميزة جداً هنا بمظاهر لاغونية لصخور «الحث الأحمر القديم» أو على شكل Ostracodes دقيقة **(Entomis, Cypridina)** التي تكاثرت جداً في بعض السحن الشيستية لقمة الديفوني.

وتمثل الفقاريات أسماكاً مدرعة **(Cephalaspis, Pteraspis)** (شكل ١٤٠، **a** و b) التي تشكل استمراراً للأشكال مصفحات الجلد Placodermes السيلورية والتي تميز بدورها «الحث Sandstone الأحمر القديم»، و Sélaciens (سمك القرش)، وأخيراً اللامعات Ganoïdes **(Holoptychius)**.

وهناك أمر هام تجدر الإشارة إليه من وجهة النظر إلى العالم النباتي، وهو ظهور، ابتداءً من الديفوني الأسفل، نباتات ذات نسيج وعائي أصيل، وهي Psilophytales (شكل ١٤٩، k-n). وأوائلها تعتبر بدائية جداً (جنس **Psylophyton**)، ولـكنها تظهر بآن واحد في أمريكا وفي أوروبا، ثم تأتي في الديفوني الأوسط لتشترك معها خفيات إلقاح أخرى عديدة مستنقعية في مكمنين شهيرين هما في Rhynie (إيقوسيا) وفي البرفلـد (بروسيـا الرينانيـــــة) (**Rhynia**، **Hornea**، **Asteroxylon**، **Hyenia**، **Cladoxylon** ... إلخ). وفي آخر الديفوني تكامل النبيت أيضاً بانضمام نماذج أرقى في التنظيم مثل فصيلة أوائل المفصليـات Proto-articulées (أجـداد Calamariées الكاربونيفيرية)، و Astéroxylacées، وبعض أشكـال بدائيـة من السرخسيـــــات

(Paléoptéridales) و Lycopodiales ، بحيث أن كل شيء كان مهيئاً للانتشار المقبل للنبيت ، الكثير التنوع والكثافة ، للعصر البرموكاربونيفيري الكبير .

والواقع هو أن هذا النبيت البرموكاربونيفيري (شكل ١٥٠ و ١٥١) هو أفضل أمثاله معرفة بفضل المكامن الفحمية الوفيرة التي أوجدها وبفضل الخدمات التي قدمها لعلمْ التطبق (١٤ نطاق من النبات تنتسب إلى الفحمي Houiller البحت) أي إلى طابقين هما الوستفالي والستيفاني (نسبة إلى سانت اتيان في فرنسا). وقد كان هذا النبيت شديد التنوع، وكل شيء يدل على أنه بلغ درجة خارقة من الكثافة. ويعرف منه على الخصوص فئات مستنقعية، لأن هذه النباتات هي التي ساهمت، بالأساس، في تشكل الفحم الحجري، وهي Lycopodiales شجرية (Lépidodendrons و Sigillaires)، وأشجار ضخمة بلغ ارتفاعها ٢٥م وحتى ٣٠م ، مجتمعة مع Equisétales شاسعة (Calamariées) التي انبثقت من بساط نباتي عشبي مائي مؤلف من فصيلة Sphénophyllées ، ومن Lycopodes ومن Sélaginelles . وإلى جانب هذه القيعان المستنقعية كان يعيش على المرتفعات المجاورة نبيت أكثر جفافاً كانت عناصره الرئيسية مؤلفة من سرخسيات بدائية Sphénoptéridées, Pécoptéridés, Paléoptéridales) ومن خفيات إلقاح قديمة جداً Ptéridospermées أو « السرخسيات ذات البذور » (Alethopteris ، Lonchopteris ، Callipteridium ، Neuropteris ، Linopteris ، Odonpterris ، Mixoneura ، Mariopteris ... إلخ) والـ Cordaïtales التي تستر أنقاضها صخور الفحم في سانت ايتان .

وقد نتج عن النهوض النهائي للسلسلة الهيرسينية في نصف الكرة الشمالي ، خلال البرمي، ذلك النهوض الذي عدَّل بشكل عميق البيئات الطبيعية، نتج عنه اتجاه جديد للنبيت وأدَّى إلى انحطاط معظم المجموعات الآنفة الذكر (Cordaïtales, Sphénophyllales, Sigillaires ، و السرخسيات ذات البذور) وإلى انطفاء الـ Paléoptéridales والـ Lépidodendrons . وعلى كل ظهر فيه سرخسية بذرية Ptéridospermée وحيدة بشكل كثيف وهي جنس Callipteris وجنس Walchia

مماثلة إلى Araucarias الحالية (وهي من صف المخروطيات التي تنبت بالشيلي وأستراليا) وهي الممثلة الوحيدة للمخروطيات في تلك الفترة (شكل ١٥٢، e).

أما في نصف الكرة الشمالي فقد كان ذلك الانتقال أقل وضوحاً، إذ كان هناك مجال قارة غوندوانا المتميزة بنبيتها الخاص من السرخسيات: Glossopteris و Gangamopteris (شكل ١٥١، c) والذي يغطي الكاربونيفير والبرموترياس والذي يعْزى وجوده لمناخ أكثر برودة ناجم عن توسع الجموديات. ونجد هذا النبيت مع تعديل بسيط في سيبيريا وفي روسيا الأوروبية (قارة آنغارا).

هذا ويضم الوحيش البرموكاربونيفيري، نماذج بحرية وبحيرية وقارية. ومن بين الفئة الأولى نجد مجموعة المنخربات التي كانت تمثلها أشكال جبارة، منتشرة بشكل غزير وتستخدم عادة في تطبق التشكلات البحرية في ذلك العصر وتتألف غالباً من شعيريات (شكل ١٢٨، a) في السحنات الحيوانية البرية ومن Schwagerines في السحن البحرية.

ونجد خلال الكاربونيفيري (الفحمي) الأدنى (دينانتي) أرصفة من المرجانيات الرباعية (**Zaphrentis**، **Amplexus**، **Cyathaxonia**، **Dibunophyllum**، **Syringotheris**... إلخ) مجتمعة مع بعض Tabulés و Stromatoporoïdés. ويستند تطبق الدينانتي ذاته في انكلترا في معظمه، على نطاقات المدخات. ومن بين القنفذيات (الأخينوسات) نجد أن Paléchinides هي المتفوقة، كما أن بعض الزنبقانيات تساهم أيضاً في تشكل الكلس ذو ألـ entroques، وإذا كانت المثانيات قد بادت فإن البرعمانيات هي التي ستبيد بدورها في آخر الحقب الأول وكانت في هذه الفترة؛ أي الدينانتي، في أوج انتشارها (شكل ١٣١، k).

ونذكر من بين عضديات الأرجل فصيلة Productidés (**جنس Productus**) التي قدمت أفضل الأنواع المستعملة في التطبق. ويتميز جنس من الحزازيات الحيوانية، وهو جنس **Fenestella**، بطبقاته الرقيقة الرصيفية التي شكلها في الدينانتي، ويجتمع فيها أحياناً مع Chaététidés (شكل ١٣٢، a). وهنا نشاهد نهاية ثلاثيات الفصوص

التي اقتصرت على جنسين هما **Phillipsia** و **Griffithites** استمرت منهما واحدة حتى البرمي. وأخيراً ننوّه بشدة انتشار الحشرات، بأشكال عملاقة، وخاصة أوائل مستقيمات الأجنحة وأوائل زوجيات الأجنحة. كما كانت بعض أجناس القشريات القارية **(Leaia, Estheria)** تستوطن البحيرات الساحلية المالحة (اللاغونات) منذ العصر الكاربونيفيري (شكل ١٣٤).

وتنتسب صفيحيات الغلاصم بصورة خاصة إلى أجناس بحرية **Schizodus** و **Posidonomya** ولكن هناك أشكالاً بحيرية مثل **Anthracosia**، **Anthracomya** و **Naiadites** تقدم بعض أنواع مميزة. وتكون معديات القدم غالباً من أنواع بحرية تنتسب إلى جنسي **Euomphalus** و **Bellerophon** (شكل ١٣٨، b). ومن بين الرخويات تكون مجموعة رأسيات الأرجل هي التي تستمر في احتلال المقام الأول مع أشباه الأمونيات، التي أمكن إقامة عدة نطاقات منها من أجل تطبق الكاربونيفير. وأكثر الأجناس استعمالاً هي **Wocklumeria** بالنسبة لقاعدة الدينانتي و **Gattenfordia**، **Pericyclus**، **Beyrichoceras** و **Glyphioceras** بالنسبة للدينانتي و **Eumorphoceras** و **Homoceras** و **Reticuloceras** بالنسبة للناموري Namurien و **Gastrioceras** و **Anthracoceras** بالنسبة للوستفالي الأعلى. وقد اختفت معظم هذه الأجناس في البرمي وحل محلها مجموعات أخرى هي: Prolécanitidés، Medlicttidés و Cèratitidés.

أما من ناحية الفقاريات، فإن الزواحف قد انتشرت بواسطة مجموعتين من Prosauriens (الحراذين) البرمية وخاصة من الحوتيات Théromorphes، وهي حيوانات كبيرة القامة، ذات أشكال غريبة أحياناً وذات تواؤمات مختلفة استوطنت قارة غوندوانا خلال البرومونترياس (**Pareiasaurus**، **Labidasaurus**، **Dimetrodon**، **Naosaurus**، **Dicyrodon** ... إلخ) (شكل ١٤٢، a). كما أن البرمائيات كانت أيضاً ممثلة بنماذج كبيرة الحجم، اختفت كلياً، وهي فصيلة سقفيات الرأس Stégocéphales. وهذه تعرف خاصة عن طريق سرفاتها المجهزة بغلاصم خارجية **(Branchiosaurus, Pnotriton)** (شكل ١٤١) وتكثر في طبقات الفحم الحجري في

كومنتري (ستيفاني) وفي الشيست البيومي في أوتون (برمي). وهناك (Archegosaurus) أخرى ذات قامة أكبر ومفترسة (شكل ١٤١ ، a).

ولا زالت الأسماك ممثلة بأشكال غضروفية مثل: فصيلة كلاب البحر (سمك القرش)، و Ganoïdes ، ومزدوجات التنفس Dipneustes (أسماك تتنفس بغلاصم وبرئتين) (شكل ١٤٠ ، c).

IV ـ النبيت والوحيش في العصر الثاني

إن معارفنا عن الوحيش والنبيت البحري والأرضي للترياس على أحسن ما يرام، لأنه هنا أيضاً، تكثر رسوبات السحن المختلفة خلال هذه الفترة.

وليس هناك أمر هام يجدر التنويه به بالنسبة للبروزيّات Protozoaires . وتكون الإسفنجيات ممثلة خاصة بواسطة مجموعة ساحلية من إسفنج كلسي وخاصة في التيرول (مكمن سان كاسيان). وتظهر المرجانيات السداسية لأول مرة في الأرصفة النادرة المؤلفة من عديدات الأرجل في الترياس الألبي، لأن المرجانيات الرباعية اختفت تماماً تقريباً. ويجب أن نذكر، من بين الزنبقانيات، نوعاً مميزاً جداً يكثر في الكلس ذو الأنتروك في الموشلكالك: **Encrinus liliiformis** (شكل ١٣١ ، g). وكذلك الأمر بالنسبة لعضديات القدم، فإنه فيما عدا بعض الأجناس النادرة ذات القرابة مع مثيلاتها في الحقب الأول، والتي تلاشى بعضها في الترياس، يجدر بنا أن نضع جانباً مجموعتي ألـ **Térébratulidés** والـ **Rhynchonellidés** التي تكثر ممثلاتها في الموشلكالك: **Coenothyris communis** التي تعتبر مستحاثة جيدة مميزة.

وأكثر القشريات وجوداً في الترياس هي **Estheria** ، وهي أشكال صغيرة ثنائية المصراعين، وقد سبق التعرف عليها بالحقب الأول، والتي تصادف في السحن اللاغونية في الترياس الجرماني.

ولكن هناك ثنائيات المصراعين الأخرى، التي تنتسب إلى صفيحيات

الغلاصم، كانت أيضاً شديدة الانتشار في الموشلكالك، وهو طابق من التریاس الأوسط يطلق عليه الاسم نفسه ولنذكر أيضاً ألـ Gervilies وبلح البحر Moules، والمحار، وثنائية المصراع Limes، و Peigner (شعار شركة شل) الخاصة بالسحن الجرمانية و Daonelles و **Pseudomonotis** و **Halobia** في التریاس الألبي. بينما تكون معديات الأرجل، في سِحَن سان كاسيان، بجبال الألب الشرقية، غنية بأشكال متنوعة.

وستلعب أشباه الأمونيات هنا أهم دور وخاصة مجموعة الـ Cératites، الكثيرة الانتشار في الموشلكالك والتي تقوم بعض أنواعها بتعريف نطاقات استحاثية. ولكن التریاس الألبي يتفوق بشكل أكبر بكثير على التریاس الجرماني من وجهة النظر هذه، فإذا كنا نجد فيه قليلاً من الـ Cératites، إلا أن الأمونيات الأخرى تكون فيه عديدة ومتنوعة (مثل مكمن هالشتاد): ونذكر منها **Arcestes** و **Pinacoceras** في التریاس الأوسط والأعلى، و **Trachiceras** و **Monophyllites** في التریاس الأعلى.

والفقاريات الترياسية هي عبارة عن أسماك (جنس **Ceratodus**) (شكل ١٤٠، l) وضفدعيات مصفحات الـرأس stégocéphales وزواحـف (ديناصوريـات و Théromorphes) التي ظلت بصمات أقدامها، المميزة جداً، محفوظة كثيراً على صفائح صخور الخرسان «الحث» الأحمر الذي يمثل الرمال الكثبانية في صحاري ذلك العصر.

هذا ويشتمل النبيت القاري الترياسي أيضاً على بعض نماذج عتيقة ولكنه يتميز بأحد أشباه المخروطيات conifèrales كثير الانتشار هو **Voltzia heterophylla** (شكل ١٥٢، f) وبعديد من الأمسوخات الشتوية Prêles الجبارة انتشرت خلال الكوبر Keuper. ولننوه أيضاً بوجود ألـ Gynkgoales، و Bennettitales و Cycadales. وفي العصر نفسه، أخذ النبيت الخاص بقارتي غوندوانا وآنغارا بالانحطاط، وأصبح النبات منسجماً فوق كل الأرض. أما في البحار فإن مجموعة السيفونيات Siphonées هي التي كانت تهيمن في هذا الحين، كما كثرت بقايا ألـ Diplopores أو Gyroporelles في بعض

نطاق آمونيات الترياس

نوري :	Sirenites argonautœ	كوبر
	Pinacoceras metternichi	
	Cyrtopleurites bicrenatus	
	Cladiscites ruber	
	Sagenites giebeli	
كارني :	Tropites sub-bullatus	
	Trachyceras aonides	
	Trachyceras aon	
لاديني	Protrachyceras archelaus	موشلكالك (Ceratites antecedens, C. nodosus, C. semi-partitus
	Dinarites avisianus	
	Protrachyceras curionii	
آنيسي (فيرغلوري)	Ceratiles trinodosus	
	Ceratites binodosus	
	Slephanites superbus	
ويرفيني (سيثي)	Flemingites flemingianus	حث مبرقش (بونتساندستين)
	Flemingites radiatus	
	Ceratites normalis	
	Proptychites tribolatus	
	Proptychites lawrencianus	
	Gyronites frequens	
	Ofocera woodwardi	

صخور الترياس الكلسية الجرمانية والألبية، كما أن بعض أنواعها يمكن استخدامها كمستحاثات مميزة.

ويتميز العصر الجوراسي خاصة بوحيشه. غير أن النبيت استمر، بالفعل، رغم أنه فقد بعض النماذج العتيقة التي امتدت بها الحياة، أقول استمر فيه الوحيش الترياسي نفسه الذي أخذ بالتكامل فيه: وقد كانت السيكاسيّات Cycadophytes (Bennettilales و Cycadales) (شكل ١٥٢) تؤلف فيه القسم الأعظم مع عاريات البذور الأخرى، وذلك خلال الحقب الثاني كله، بحيث أن هذا العصر كان حقاً عصر عاريات البذور. ولكن أشباه المخروطيات Conifèrales لم تتخذ طابعاً حديثاً إلّا ابتداءً من الجوراسي الأعلى، عصر رأى ظهور أوائل النماذج البنيوية الحالية. وهناك بعض عاريات البذور النادرة التي تعتبر هامة من وجهة النظر الاستحاثية، لأنها تبدو وكأنها تبشر بظهور مغلفات البذور التي ظهرت في الكريتاسي. ولنضف إلى ذلك القول أن لاغونات الجوراسي الأعلى (البوربكّي) كانت تجتاحها الطحالب (**الشارا** **Chara**) التي ساهمت بتشكل صخور الكلس في ذلك العصر (شكل ١٤٩، j).

وسيتميز الوحيش الجوراسي بازدهار الأمونيات والزواحف، وبظهور البرمائيات العديمات الذيل والطيور **(Archæopteryx)** (شكل ١٤٤، a)، كما تضاءل عدد النماذج القديمة لأدنى حد والقليل جداً من الفصائل التي يمكن اعتبارها كخاصة بذلك العصر.

ونذكر من بين البروزيّات خاصة الشعاعيات، التي شكلت صخوراً سيليسية تدعى راديولاريت (شكل ٩٧ و ١٢٨) وبعض المنخربات البحرية مثل الغلوبيجرين، ونقعيات مثل ألـ Calpionelles التي تكثر أحياناً في الصخور الكلسية البحرية في التيتوني. وأخذت الإسفنجيات السيليسية (Hexactinellides و Lithistides) في هذا العصر بالانتشار الكبير في بعض السحن (طابق قديم يدعى بالماضي Spongitien وحالياً آرغوفي) حيث ينتج عن تراكم قواقعها الصغيرة تشكل صخور تسمى gaizes أو Spongolithes.

إن جميع المدخات polypiers هنا هي عبارة عن مرجانيات سداسية وتظهر

أهمية الأرصفة التي شكلتها خاصة بوساطة الصخور الكلسية البيضاء الرصيفية اللوزيتانية (كان يدعى قديماً الطابق المرجاني). وكانت اللاحشويات alcyonaires الوفيرة هي **Cancellophycus** (= **Spirophyton**) وهي آثار لولبية متناثرة، منسوبة إلى Gorgonides. واحتفظت الزنبقانيات بأهميتها ويجدر بنا ذكر بعض الأجناس الخاصة: **Pentacrinus** اللياسة (شكل ١٣١، h)، **Apiocrinus** في الجوراسي الأوسط و **Millericrinus** في الجوراسي الأعلى ولكن الصخور الكلسية ذات الأنتروك التي نتجت عن تهشيم أنقاضها توجد خاصة في الجوراسي الأوسط.

ولقد تكاثرت القنفذيات (أخينوسات) الحقيقية، التي ظهرت بالترياسي مع فصيلة السيداريّات Cidarités، واستخدمت كمستحاثات مميزة: وأكثرها وفرة هي أجناس **Collyrites**، **Clyplus**، **Stomechinus**، **Glyptichus** و **Cidaris** (شكل ١٣١).

وتمثل عضديات الأرجل الجوراسية أشكالٌ ساحلية في معظمها (Rhynchonelles و Térébratules) وأشكال ذات سحن عميقة مثل الـ Pygopes (أو Térébratules ذات قشرات رقيقة، مثقوبة) تميز الجوراسي الأعلى. وتطاول الأمد بعض المجموعات القديمة، مثل الـ Spiriférines حتى الجوراسي الأوسط (شكل ١٣٢).

وهذه بضعة من صفيحيات الغلاصم التي تعتبر خاصة بالجوراسي، ولا سيما الـ Diceratidés، التي تنتسب لمجموعة خاصة من الروديست والتي كان ظهورها في ذلك العهد. وهناك الـ Aucelles التي تميز، مع بعض رأسيات الأرجل، منطقة شمالية من الجوراسي، كما كثرت ألـ Astrates وبعض المحار المسماة غريفيه Gryphées في بعض الطوابق، كما تحتوي معظم السِحَن الشيستية على Posidonomyes. ونجد القليل من معديات الأرجل المميزة، غير أن السحن الرصيفية تحتوي مع ذلك على الكثير من النيرينات Nérinées، كما تتميز بعض السحن الوحلية بوفرة الـ Ptérocéras (قديماً طابق Ptérocérien).

ويقوم تطبق الجوراسي كله على الأمونيات التي تكاثرت فروعها بإفراط مذهل

(شكل ١٣٩) في هذا العصر . ونصادف فيها كل أنماط التطور، تطور قصير، تطور بطيء مع تنوعات عديدة، وتطور بطيء دون تعديل كبير .

وقد يحدث هذا التطور محلياً، أو في مناطق مختلفة، بفضل الهجرات الكثيفة أو الفجائية . وبما أن كل هذه الحيوانات كانت من السابحات الماهرة، فإن توزعها في وقت ما قد يكون كبيراً جداً، وعلى الأرجح في السحن العميقة (أشكال ملساء) ولكن أحياناً أيضاً في سحن ساحلية (أشكال مزخرفة) . لهذا كان من اللازم القيام باختيار في هذا الخليط من الأمونيات . ومن بين الأشكال التي لا تحصى، علينا أن نمنح الأفضلية لأكثر الفروع غنى بطفرات جيدة والتي كان تبعثرها أكثر أمثاله في فترة معينة . ولكن، إجمالاً، يمكن القول أن اللياس الأسفل يتميز بوجود الـ Ariétidés واللياس الأسفل بالـ Amaltheïdés، واللياس الأعلى بوجود Harpocéras التي يضاف إليها الأجناس الثلاثة **Sonninia**، **Oppelia**، **Parkinsonia** في الجوراسي الأوسط، وتفــــوقت في خلال الكالّـوفي ـــ الأوكسفوردي أجناس **Macrocephalites**، **Cardioceras** و **Reineckeia** وشهد الجوراسي الأعلى حدوث انتشار الـ **Gravesia** والـ Perisphinctidés التي تعتبر بعض أشكالها، مثل الـ **Virgatites**، كمميزة لإقليم شمالي .

نطاقات الأمونيات في الجوراسي

البورتلاندي

تيتوني أعلى .... H. Chaperi ، Hoplites progenitor ، Perisphinctes senex

تيتوني أوسط .... Berroiasella و Perisphinctes contiguus

تيتوني أسفل .... Oppelia lithographia

بونوني .... Perisphinctes bonionensis

Pachyceras (Gravesia) Portlandicum

الكيميرجي

فيرغولي .... Aulacostephanus pseudomutabilis, Aspidoceras caletanum, A. Orthocera

بيتروسيري .... Oppelia (Streblites) tenuilobata, Rasenia cimodoce

لوزيتاني

سيكواني .... Perisphinctes Achilles (Astartien)

Peltoceras bicristatum (= P. Bimammatum) .... روراسي
Peltoceras transversarium, Ochetoceras canaliculatum .... آرغوفي
Cardioceras cordatum .... أوكسفوردي
Cardioceras Mariae
Cardioceras Lamberti, Peltoceras athleta
Reineckeia anceps .... كالّوفي
Macrocephalites macrocephalus
Oppelia (Clydoniceras) discus .... باتوني
Oppelia aspidoides
Oppelia fusca
Cosmoceras (Garantia) Garanti, Parkinsonia .... باجوسي
Parkinsoni و Oppelia subra diata
Cœloceras (Stephe oceras) Blagdeni, Witchellia
Romani و Oppelia subradiat
Sphaeroceras (Emileia) Sauzei, S. (Stepheoceras)
Humpheriesianum
Sonninia Sowerbyi, Witchellia laeviuscula
Harpoceras concavum .... آالينى
Harpoceras Murchisonae
Harpoceras opalinum
Dumortieria Pseudoradiosa, D.Levesquei
Harpoceras (Pleydiella) aalense
Lytoceras Jurense .... توراسي
Harpoceras bifrons
Harpoceras falciferum

دومـــــري
Domèrien
{Amaltheus spinatus .... شارموتي
Amaltheus margaritus}

بليانسبـاشي
Pliensbachien
{Deroceras Davoei, Aegoceras capricornu
Polymorphites Jamesoni, Phylloceras ibex
Deroceras armatum}

Arietites (Echioceras) raricostatus, ... سينيموري

	Arietites (Echioceras) rariocostatus
لوثـــارنجي	Oxynoticeras oxynotum
Lotharingien	Arietites (Asteroceras) obtusus,
	Aegoceras planicosta
	Arietites (Asteroceras) Turneri,
	Deroceras Birehi
سينيمـــوري	rietites (Arnioceras semicostatus
S.str	Arietites Bucklandi
هيتّانجي	Schlotheimia angulata ....
	Psiloceras planorbis

ريتي ....أمونيات في جبال الالب الشرقية فقط

وهنـاك رأسيـات أرجـل أخـرى، مثـــل البيلمنيتـــات Bélemnites ، تكثر أيضاً وتنتشر، في كل السحن، في الجوراسي، ولـكنها لا تلـعب فيـه أبـداً دور الأمونيات التطبقي. وقد صنفت الأشكال استناداً إلى اتجاه الشق البطني لخرطوم القوقعة، وهكذا فإن فقـدان هذا الشق يميـز أشكـال الليـاس الأسفـل والأوسط (**Paxillosus** و **B.excentricus**) وتظهر في اللياس الأعلى أشكال ذات شق بطني يبدأ من رأس المتك أو الخرطوم (**B.giganteus** و **B.irregularis**) وابتداءً من الجوراسي الأوسط، لا يظهر هذا الشق إلّا فوق المتك أو الخرطوم (**Belemnopsis hastatus**). ويظهر شكل شمالي، **Cylindroteuthis**، في الجوراسي الأعلى ليحـل محل الأشكـال السابقة، بينما تظهر في مناطق البحر الأبيض المتوسط نماذج ذات خرطوم منقعر أو **Duvalia** (شكل ١٣٩ c).

كما شهد العصر الجوراسي أيضاً انتشاراً كثيفاً للزواحف مع أشكال مختلفة من حيث القامة والتي كانت تتواءم مع كل البيئات.

ومن بين هذه الأشكال نذكر الـ ichthyosaures والـ Plésiosaures وتماسيح بدائية ومدرعة كانت تستوطن البحار، وفوق الأرض كانت تتطوّر دينوصوريـات ضخمة من ذوات الأربع، وديعة وآكلة عشب، تعتبر من أكبر الحيوانات المعروفة (مثل

Diplodocus) (شكل ١٤٣ ، b) ولكن كان يجاورها حيوانات مفترسة رهيبة من ذوات الرجلين (مثل **Ceratosaurus**) (شكل ١٤٣ ، d) ، كما كان المجال الجوي مأهولاً بـ Ptérosauriens و Ptérodactyles و **Ramphorhynchus** .

ولنتذكر أن جد الطيور ظهر في الجوراسي الأعلى مع صفات زواحفية أكيدة (وهو **Archæopteryx**) (شكل ١٤٤ ، a) (في الكلس الطباعي في سولنهوفن) وأن بعض أوائل الثدييات اللامشيميات بدأت تظهر منذ الريتي بالنسبة لعديدة الدرنات Multituberculés ، وبالنسبة للكيسيات في الباتوني .

وهناك أمر هام يشير إلى مطلع العصر الكريتاسي ، ألا وهو ظهور مغلفات البذور ونباتات ذات أزهار . وكان هذا الظهور المفاجئ مصحوباً فوراً بتعدد فريد للنماذج فوق كل القارات ، وهذا ما دعى للقول أن الكريتاسي كان حقب مغلفات البذور . ومن جهة أخرى أخذت كل النماذج العتيقة بالتلاشي وتجدد النبيت كله بدوره في الكريتاسي الأعلى ، بحيث تستطيع كل عناصره أن تدخل في إطارات تصنيفنا الحالي .

وتتألف لافقاريات الكريتاسي في بادئ الأمر من المنخربات التي تكاثرت في الحوار ، وتتألف بعض السحن البحرية أو الساحلية من (غلوبيجرين ، Rosalines ، Lagenas ، Miliolidés) (شكل ٩٩) . وقد جاءت لتضاف إلى هذه الأشكال المجهرية منخربات جبارة ، مفيدة جداً في التطبق ، مثل الـ Orbitolines (شكل ١٢٨ ، c) في الكريتاسي الأسفل و Miliolidés trématophorés و Orbitoïdés في الكريتاسي الأعلى .

أما مجموعة الإسفنج ، التي كانت تمثلها دوماً الـ Hexactinellides ، Lithistides وبعض الصخور الكلسية (شكل ١٢٩) ، فقد كانت في أوج توسعها . وقد تؤلف الإسفنجيات السيليسية بعض الطبقات الرقيقة الرصيفية في السينوني في بعض المناطق (البروفانس) .

وابتداءً من ذلك العصر أصبحت أرصفة المدخات ، التي بدأت تنحدر

تدريجياً باتجاه مناطق البحر الأبيض المتوسط، الأكثر حرارة، في خلال الجوراسي، أصبحت محصورة في هذه النطاقات. ويميز جنس **Cyclolites** (شكل ١٣٠، d) فيه الكريتاسي الأعلى. واستمرت بعض الستروماتوبور\Stromatopores حتى السينوماني في مناطق شارانت (غرب فرنسا) حيث انطفأت (شكل ١٣٠، h).

وكانت تتمثل شوكيات الجلد ببعض الزنبقانيات (**Marsupites** و **Uintacrinus**) ذات الملامح العتيقة، وخصوصاً بوساطة القنفذيات oursins التي أتمت هنا تطورها وتستخدم كثيراً كمستحاثات مميزة: ومن وجهة النظر هذه، نذكر خاصة فصيلة **Spatangidés** (آكلات الوحل irréguliers limivores) التي تقدم مختلف أنواع الـ **Toxaster** فيها سلّماً طبقياً بالنسبة للنيوكومي Néocomien. ونجد في الكريتاسي الأعلى، أن بعض القنفذيات تكون هي أيضاً مميزة جداً (**Holaster** و **Hemipneustes** و **Ananchytes**) ويمكن استخدامها لإقامة نطاقات استحاثية (باليئونتولوجية) **(Micraster)** (شكل ١٣١).

وقد سبق لمجموعة عضديات القدم أن فقدت معظم أجناسها، وإذا استثنينا الـ **Térébratulidés** والـ **Rhynchonellidés**، التي تمثلها أفراد عديدة، فإنه لا يمكننا أن نسرد كأشكال مفيدة سوى بعض صغار عضديات القدم الساحلية في الحوار مثل **Crania** و **Thecidea**.

وهناك بعض فصائل صفيحيات الغلاصم، مثل فصيلة inocéramidés تقدم خدمات من وجهة النظر الطبقية لدرجة أمكن إقامة سلالم حقيقية لـ inocérames لتصنيف الكريتاسي الأعلى في بعض مناطق أوروبا الوسطى. وهناك أشكال لا تكون فيها أبداً نادرة، وخاصة الـ Nuculidés و Pholadomyes و Plicatules في السحن الوحلية، والمحار في السحن الأقرب للسواحل Exogyres و Alectryonies)، وأخيراً الـ Aucelles في المناطق الشمالية التي تتميز بها في الكريتاسي وفي الجوراسي. ولكن أشهر صفيحيات الغلاصم هي الروديست (التي لا تزال تسمى Pachyodontes) التي كانت تلعب في أثناء الكريتاسي دوراً لا مثيل له، سواءً بصفتها كمستحاثات مميزة وكعضويات بنّاءة للصخور. وقد أخذت بالتكاثر بشكل خاص ابتداءً من الأورغوني

في مناطق البحر الأبيض المتوسط مع أجناس **Requienia** و **Toucasia** (باريمي ــ آبتي أسفل) و **Polyconites** و **Horiopleura** (آبتي أعلى) ، **Caprina** ، **Hippurites** وراديوليت (سينوماني ــ داني) (شكل ١٣٧) .

وإلى جانب ذلك لم يكن لمعديات الأرجل سوى دور ضئيل جداً فلا نستطيع أن نذكر منها سوى الـ Actéonelles في الكريتاسي الأعلى للبحر المتوسط والنيرينة Nérinées في السحن الرصيفية الأورغونية . وعلى كل حال تكثر في السحن القارية لمنطقة البروفانس (جنوب فرنسا) أشكال غير ملتفة مثل **Lychnus** في الداني (شكل ١٣٨ ، p) .

هذا واستمرت مجموعة الأمونيات خلال كل الكريتاسي مع نفس العنفوان ولم تتلاشى إلّا في الداني . وهنا أيضاً أمكن تمييز نطاقات استحاثية في الطوابق الرئيسية . وبعد الأشكال الملساء في السحن العميقة مثل الـ Phyllocératidés و Lytocératidés و Desmocératidés نجد أشكالاً ذات قواقع مزخرفة ، أكثر قرباً للساحل مثل أجناس **Hoplites** و **Mortoniceras** و **Douvilléiceras** و **Schloenbachia** .

ولنضف إلى ذلك أن جنس **simbirskites** هو الذي يميز الباريمي في المنطقة الشمالية وان **Polyptychites** تميز الهوتريفي ومجموع **Polyptychites** و **Garnieria** و **Craspedites** هو الذي يميز الفالانجي .

هذا وتستخدم بيلمنيتات الكريتاسي عادة في التطبق . كما استمرت **Belemnopsis** الجوراسية في الكريتاسي الأعلى كما برز جنس **Pseudobelus** الذي كان فيه الشق الظهري أو المتك rostre واقعاً في المنطقة النخروبية أو السنخية . ولكن تكاثرت بشكل خاصة البيلمنيتات المبسطة **(Duvalia)** مع أنواع نيوكومية جيدة .

وتجاه هذه الأشكال في منطقة البحر الأبيض المتوسط والتي لم تتجاوز الآلبياني ، تقابلها أشكال المنطقة الشمالية **Cylindroteuthus** الجوراسية التي استمرت في الكريتاسي الأدنى ، وظهرت البيلمنيتات في التوروني وتطورت حتى نهاية السينوني وأعطت عدة أنواع مميزة (شكل ١٣٩) .

ويجب أن نذكر الأسماك من بين الفقاريات، وانتشار العظميات Téléostéens، التي ظهرت في اللياس، ومن بين الزواحف كان استمرار الدينوصوريات (Tracholon ،iguanodon) وظهور الـ Cératopsiens (Triceratops)، وأسطفوريات Stégosauriens (Stegosaurus) و Mosasauriens أو ثعبانيات الشكل Pythonomorphes وهي مجموعات محصورة في الكريتاسي الأعلى (شكل ١٤٢ و ١٤٣).

وأخيراً لا نجد الطيور ذات الأسنان العائدة لكريتاسي الأعلى إلا في هذا الوقت، وبالتالي في هذه الأراضي، وفي منغوليا، أمكن منذ عهد قريب، اكتشاف أقدم الثدييات المشيمية المعروفة (Deltatheridium و Zalambdalestes) التي يبدو أن لها صلات نسب مع آكلات الحشرات (شكل ١٤٥).

نطاقات العمونيات في الكريتاسي

داني .... لا توجد عمونيات Nautilus danicus

مايستريشتي .... Bostrychoceras Polyplocum, Baculites anceps

كامباني .... Placenticeras bidorsatum

سانتوني .... Mortoniceras Texanim

كويناسي .... Barroisiceras, Tissotia

توروني .... Mammites nodosoides, Vascoceras

سينوماني .... Acanthoceras rothomagense, Scaphites, aequalis

Avanthoceras Mantelli و Schlönbachia varians

آلبي .... Mortoniceras rostratum, Soliczkaia dispar

Turrilites Bergeri (فاركوني)

Mortoniceras Hugardianum, M.varicosum

Hoplites dentatus, Douvilléiceras mamillatum

Hoplites tardefurcatus, Douvilléiceras mamillatum

Acanthoplites Bigoureti

آبتي .... Oppelia nisus (Gargasien). Hoplites Deshayesi

Ancyloceras Matheronu (بيدولي)

باريمي .... Macroscaphites Yvani

Pulchellia pulchella

Hoplites angulicostatus

Desmoceras difficile

هوتريفي .... Crioceras Duvali

Hoplites radiatus

فالانجي .... Hoplites neocomiensis

Hoplites Boissieri et H.ponticus (بيريازي)

٧ ـ نبيت ووحيش العصر الثالث

ابتداءً من الدور الثالث لم يعد النبيت مختلفاً عن النبيت الحالي إلّا من حيث توزع الأجناس.

وهكذا أخذ العامل المناخي يحتل مكانة كبرى من حيث الأهمية. فبعد الطغيانات (التجاوزات) الكبرى في الكريتاسي الأعلى، أخذ الانحسار الذي تدشّن في العصر الثالث يعيد للقارات المشهد الذي كانت عليه في الكريتاسي الأسفل، ولكن النطاقات المناخية راحت تتعدل تدريجياً، في حين جنحت الحرارة العامة للكرة الأرضية نحو الانخفاض حتى العصر الحالي. لهذا أخذت العناصر المدارية تنتقل تدريجياً نحو الجنوب كي تحل محلها أشكال معتدلة أو باردة، وهكذا بدأت تستقر مختلف نطاقات النبات التقليدية في أماكنها.

أما الوحيش فقد كان أكثر تقلصاً ومتميزاً بكثرة أشكال جبارة من المنخربات وبشدة تنوع الثدييات التي ظهرت في كل مكان خلال هذا العصر.

وكان هناك مجموعتان من المنخربات متصفتين بانتشارهما الكبير: وهما الفلسيات (شكل ١٢٨) (فلسيات Assilines) التي أعطت اسمها للعصر النموليتي،

ومجموعـــة Orbitoïdés (Orthophragmines ، Lépidocyclines و Miogypsines) وإليك توزعاتها :

الميوسين .... Miogypsines
أوليغوسين .... Lépidocyclines وفلسيات صغيرة
إيوسين أعلى ...... Orthophragmines وفلسيات صغيرة
إيوسين أوسط .... Orthophragmines ، Assilines فلسيـــــات كبيرة وصغيرة .
إيوسين أسفل .... Orthophragmines وفلسيات صغيرة

أما النخاريبيات (السنخيات)، التي ظهرت في الكريتاسي، فقد تكاثرت خلال الدور الثالث، ولكنها لا تقدم أشكالاً مميزة، مثل Milioles ، و Orbitolites وكبار المنخربات التي أتينا على ذكرها، بل تساهم في تشكيل الصخور الكلسية ذات الأصل العضوي.

هذا ونصادف أرصفة من المدخات (بوليبات) في المناطق الرومية (البحر الأبيض المتوسط) وبعض عديدات الأرجل المنعزلة في النطاقات الشمالية. كما تنتشر القنفذيات خاصة في التشكلات البحرية القريبة من القارة العائدة لصخور المولاس الميوسينية وأكثرها شهرة هي أجناس **Clypeaster** ، **Scutella** ، و **Echinolampas** .

ولقد حـقّـق عالم الحشرات خطوة للأمام مع ظهور النباتات ذات الأزهار ونعرف الكثير من مكامنها وأشهرها من ناحية حفظ المستحاثات هو مكمن العنبر في الأراضي الأوليغوسينية لمنطقة سامالاند على ساحل بحر البلطيق.

وتتـكّـون الرخويات المستعملة في تطبق الثلاثي (شكل ١٣٧ و ١٣٨) من السيريت Cérithes بالنسبة للعصر النموليتي (إيوسين وأوليغوسين) وفصيلة Pectinidés بالنسبة للنيوجين (ميوسين وبليوسين) وتقدم هذه الفصيلة مستحاثات مميزة عديدة.

وإذا استثنينا الثدييات التي تقدم خلال كل العصر الثالث خدمات قـيّـمة من أجل إقامة تزامنات على مسافات طويلة، فلا يمكن أن نذكر من بين الفقاريات

كمجموعات هامة سوى الأسماك، المعروفة خاصة بوساطة أسنان سمك القرش التي تكثر غالباً في بعض الرسوبات، والطيور المجهزة بمنقار التي ظهرت في هذه الفترة.

هذا ويستند التقسيم الدقيق للطوابق على وحيشات متعاقبة مؤلفة من الثدييات (شكل ١٤٦، ١٤٧، ١٤٨) أمكن العثور عليها، بطول أناة، ضمن مكامن العالم قاطبة. ففيما يتعلق بالإيوسين الأوروبي يقدم الثانيتي Thanétien أوائل عديدات الدرنات الثلاثية Multituberculés وبعض ألـ Créodontes (مثلاً مكمن Crenay-les-Reims). وفي السبارناسي ظهرت أوائل وحيدات الإصبع imparidigités **(Ayracotherium)** والضعيفات القدم Amblypode مثل **Coryphodon** (كما في مكمن مودون قرب باريس) وفي الإيبسيري ظهر جنسا **Lophiodon** و **Protodichobune** (ذوات الظلفين Paridigité). وفي اللوتيسي تكاثرت الـ Lophiodons ونلاحظ ظهور أجناس **Propæotherium** و **Dichobune** (مثلاً: مكمن التشكلات الثلاثية الغنية بفلز الحديد في Ergenkingen في سويسرا و Lissieu في منطقة الرون). والوحيش المسمى البارتوني مع أواخر فصيلة الـ Lophiodontidés والـ Palæothéridés العديدة، فقد ظهر في الليدي Lédien (بارتوني) في حين أن الليدي يتميز بتعايش أجناس **Palæotherium** و **Anoplotherium**، **Xiphodon** (مكمن جبس مونتمارتر).

وفي مطلع الأوليغوسين، كان السانوازسي يضم، إلى جانب **Anoplotherium** و **Xiphodon**، أوائل فصيلة الكركدنيات و Anthracothèridés (مثل مكمن رونزون بمقاطعة Velay). والفصيلة الأخيرة استمرت مع الكركدنيات **(Aceratherium)** وأواخر Palèothéridés، في الستامبي (غضاريات سان هانري قرب مرسيليا، وفوسفوريت كيرسي) وحتى في الشاتّي Chattien (كبار الـ **Anthracotherium** و **Aceratherium** في الصخور الكلسية البيضاء بمنطقة Agenais). وابتداءً من الآكيتاني تلاشت الـ **Anthracotherium** الحقيقية وأضحى الوحيش الستامبي بحالة مفتقرة جداً (مكمن سان جيران لوبوي، بمقاطعة Allier).

وأخيراً نشير إلى ظهور أجداد الخرطوميات (أشباه الفيل) (**Mæritherium** و **Palæomastodonte**) **منذ الأوليغوسين، في مصر، وظهور أوائل القرديات**

catarrhiniens مثل Propliopliithecus والـ Parapithecus التي يمكن تصنيفها مع فرع البشريات Hominiens .

واجتاحت الخرطوميات أوروبا في الميوسين (Dinotherium, Mastodon) شأن فئة Anchitherium ، وستستمر خلال الفيندوبوني والبونتي وحتى البليوسين الأسفل مصحوبة بالخيليات في البونتي وفصيلة الكركدن التي تميز أنواعها المتعاقبة مختلف الطوابق. وسيشهد البليوسين الأعلى اندثار أواخر الماستودونت وظهور الفيلة، والحصان والثور. وخلال هذا الزمن تفردت مختلف فروع القردة الشبيهة بالانسان، في حين أن فرع الانسانيات تمدّد حتى البليوسين، وهو العصر الذي أعطى خلاله فرع ما قبل الإنسانيات Préhominiens وفرع أشكال australopithècoîdes (Australopithecus) .

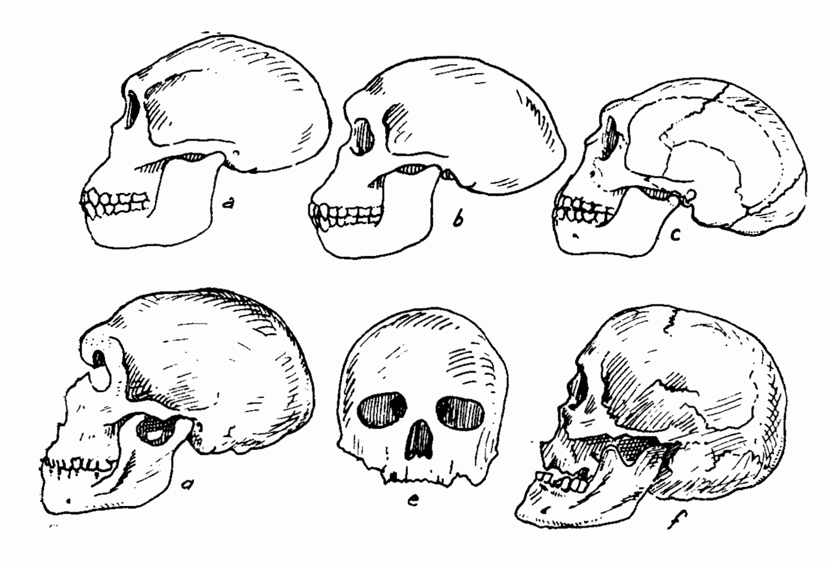
VI ــ نبيت ووحيش العصر الرابع

يتصف مطلع الفترة الرباعية بتبرد عام، فتعرض شمالي أوروبا وأمريكا وكل الكتل الجبلية إلى زحوف جمودية. ويعتبر اثنان من هذه الزحوف خاصة، هامين، وهما الأخيران، ويظهران منفصلين بحقبة بين جمودية مصحوبة بتسخن في الحرارة. وبعد الحقبة الجمودية الأخيرة، جاء تسخن جديد يمهد فوراً للحقبة الحالية.

وتقهقرت الغابات الكثيفة، التي استقرت فوق القارات خلال البليوسين، نحو الجنوب، ولكن بينما كانت الكتل الجبلية في أوروبا، ذات الاتجاه العرضاني السائد، كانت تلعب دور حاجز إذ أصبحت كمحنة قاسية للنبيت الذي ظل فيها محروماً من عناصره الحارة، كان الوضع الطولاني للجبال في القارة الأمريكية، على العكس، موائماً لهذه الهجرات، وكذلك الحال بالنسبة لعودة نباتات البليوسين في فترة التسخن التالية.

ولوحظ في أوروبا الغربية، تعاقب ثلاثة أنواع رئيسية من النبيت: فلور شبه قطبي، توندرا، أو فلور ذو Dryas (D.octopetala) رافق تقدم الجمودية القارية باتجاه الجنوب، وإلى الجنوب من ذلك ظهر نبيت سهبي من نجيليات وشجيرات صغيرة مع

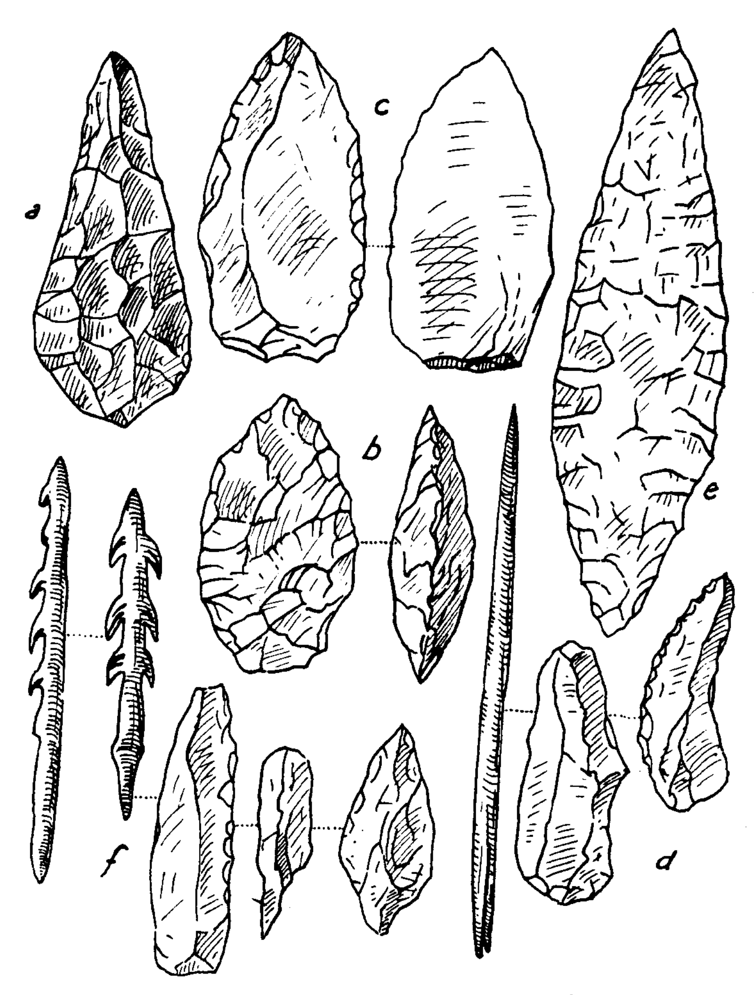
أشجار الصنوبر والسندر، وأخيراً نبيت حراجي مع مخروطيات (ابيسيئا Epiceas) وذات أوراق (زان، بلوط).



شكل ١٥٨ ــ **المراحل الكبرى لمراحل البشرية في ماقبل التاريخ. أولاً**، المرحلة الآنثروبية (ماقبل الإنسانيات). a، إنسان ــ قرد جاوا. b، الإنسان الصيني لمنطقة شوكوتين (قرب بكين). c، **الإنسان الإفريقي لتانغانيكا. ثانياً**، المرحلة النياندرتالية. d، **إنسان نياندرتال** لمنطقة Farrassie. **ثالثاً**، مرحلة الإنسان العاقل المستحاث. e، إنسان كرومانيون. f، إنسان شانسلاد.

ويستطيع هذا التعاقب الذي يظهر في المكان، أن يظهر محلياً في الزمان، على الشاقول نفسه، وذلك في التوضعات بين الزحوف الجمودية الرباعية في شمال أوروبا.

وستؤثر الشروط المناخية أيضاً على تقلبات صروف الوحيش. كما أن البحار التي لم تختلف حدودها كثيراً عن حدودها الحالية، لم يختلف فيها وحيش الرخويات عما هو عليه حالياً، إلّا من حيث هجرة بعض الأجناس أو تلاشيها. ويضم الوحيش الصقّلي (الرباعي الأسفل، زحف جمودي مندل) بعض الأنواع البائدة البليوسينية وأشكالاً باردة **(Cyprima islandica)** (شكل ١٣٧، k). وخلال الفترة التيرينية لم يحدث تلاشي أي أنواع تقريباً، ولكن التسخن الناتج عن (الفترة الفاصلة بين الزحف الجمودي المنديلي والريسي) سمح بوصول أنواع سينغالية **(Strombus bubonius)**.



شكل ١٥٩ ــ الصناعات الأوروبية لما قبل التاريخ. a، سلاح صواني شيللي (Abbevillien). b، سلاح صواني آشولي (وجه ومقطع). c، شظية موستيرية. d، أداة أورينياسية (إبرة من عظم مشقوقة وشفرتان من الصوان). e، صوان على شكل ورقة الغار سولوترية. f، أداة مجدلينية (حربتان من قرن وعل الرينه وصوان مختلف).

ولم يتشكل الوحيش الحالي ابتداءً من تلك الفترة إلّا بعد تلاشي بسيط للأشكال (الحيوانية) الحارة التي ارتدت إلى مناطقها الأصلية. ولا يظهر تأثير الزحفين الجموديين الأخيرين (الريسي والفورمي) تقريباً على تطوير الوحيش الذي أصبح منذ ذلك الوقت مألوفاً ومماثلاً للوحيش الحالي.

ففوق القارات كانت الثدييات وهنا أيضاً، هي ذاتها، والتي سمحت بإقامة أفضل تأريخ، ويمكن أن نميز بالتعاقب: وحيش قديم حار (**فيل قديم، كركدن Merki** فرس النهر «سيد قشطه») أعقبه عالم حيواني بارد (ماموت وكركدن صوفي، رينّة، ثورمسكي وعديد من القوارض). ثم سمحت شروط الحرارة بعودة الوحيش الحار، الذي طرده من أوروبا أول تبرد ناجم عن الزحف الجمودي. وكانت فقاريات كبيرة ترافق الفقاريات السابقة وهي: الحصان، الوعل، الثور الوحشي الأوروبي، الثور الوحشي الأمريكي **Bison**، وأخيراً الأسد ودب الكهوف، مما يشهد على وجود غابات واسعة ومناخ سهوب معتدلة.

وفي تلك الفترة كان فرع الإنسانيات يتفرد تدريجياً، سواءً في آسيا أو في أفريقيا (شكل ١٥٨). وقد تلاشت أشكال أشباه القردة الجنوبية خلال الدور الرابع التي كان يمثلها **Plesianthropus** و **Paranthropus**، ولكن سيكون للفرع القريب من ما قبل الإنسانيات، مثل القرد الإنسان، والإنسان الصيني، والإنسان الإفريقي مصير مختلف تماماً لأنه ستنتج عنه الإنسانيات الحقيقية التي يمثلها خاصة نموذج نياندرتال، الذي يعتبر من أفضل أمثاله معرفة بالنسبة لما قبل التاريخ. وكان علينا أن ننتظر حتى الدور الرابع الأعلى كي تظهر العروق المختلفة العائدة للإنسان العاقل المستحاث مع اتجاهاتها المتنوعة: مثل أشباه المنغولي (نموذج شانسولاد) وأشباه الزنوج (نموذج غريمالدي) والأوروبية (نموذج غرومانيون).

وفي هذا الوقت يستعاض عن المستحاثات بالأدوات الصخرية المصنوعة من الصوان، التي تكون مقصوصة بخشونة (العصر الحجري القديم)، ثم تليها أدوات أكثر إتقاناً وصقلاً (العصر الحجري الجديد)، وابتداءً من هذا العصر يترك الجيولوجي مكانة للمؤرخ. وخلال العصر الحجري القديم يمكن تقصّي مصنوعات عديدة تنطبق على العصر الحجري القديم (شكل ١٥٩) مثل الشيللي (المتميز بأشكال تماثل اللوزة، مدببة من نهايتها، ومدورة من الجانب الآخر مع لمسات على كلا الوجهين) والآشولي (مع أشكال لوزية مع لمسات دقيقة لجعل السلاح الصواني ذا حافات جارحة)، والموستيري (وهو شظايا خشنة الصنع على وجه واحد على شكل حروف

حربة الرمح ومكاشط) . وبعد هذا المجموع يأتي عصر حجري قديم أحدث ، تم خلاله إتقان الأدوات المصنوعة وأعطى المراحل الآتية : أورينياسي (شفرات من صوان جيدة التهذيب ، مع أدوات من العظام التي ظهرت في هذه الفترة) ، والسولوتري (وفيه صوانات رقيقة بديعة وكبيرة المقياس تسمى أوراق الغار) ، والمجدليني (شفرات من صوان مهذبة على شكل مكاشط وأدوات عظمية متقنة جداً) . ويتميز هذا العصر بأنه عصر التقدم الرائع للفن ، فن صخري خاصة ، نعرف بفضله ، فضلاً عن الإنسان ذاته ، لأنه لا يصور ذاته إلّا قليلاً ، فعلى الأقل يصور نماذج الوحيش الذي كان يعيش في زمنه نفسه (ماموت ، كركدن ، ثور بيزون ، وعِل ... إلخ) والذي كان يطارده الإنسان في ذلك الوقت لغاية نفعية .

الفصل الثاني

مبادئ علم الطبقية (الستراتيغرافيا)

إن علم الطبقية، هو العلم الذي يدرس طبقات القشرة الأرضية بغية الاستناد إليه لإقامة ترتيب عادي لتنضّد الصخور فوق بعضها البعض ولعمرها النسبي. وبما أن لهذه الطبقات سحنات مختلفة فهي تسمح بإعادة تمثيل سيماء وتغيرات البحار القديمة، ليس في المكان فحسب، وفي فترة معينة، بل في الزمان أيضاً، وبكلمة أخرى، لمعرفة تسمح بالتعرف على التاريخ الجغرافي القديم للأرض. ويستعين علم الطبقية باستمرار بمفاهيم علم الصخور أو علم المستحاثات وهما علمان سبق أن عرضنا طرائقهما ونتائجهما في الفصول السابقة. وبفضل استعمال الظواهر الكبرى التي أوضحتها كل هذه العلوم المذكورة أمكن إقامة الانقطاعات الكبرى في التصنيف الجيولوجي: الحقب الأول، الحقب الثاني، الثالثي والرابعي، التي هي ذاتها تنقسم إلى أدوار، وعصور وأعمار عندما يتعلق الأمر بالزمن، وإلى مجموعات ومنظومات، وزمر وطوابق عندما يتعلق الأمر بالصخور[1].

---

(١) وهكذا فإن العمر يعني مدة استمرار طابق ما.

١ ــ العلاقات المتبادلة بين الطبقات

I ــ الطبقية والتورق

تكون الصخور الرسوبية مرتصفة دائماً على شكل طبقات، متفاوتة في وضوحها، مهما كان أصلها. وهذه الطبقات المنفصلة عن بعضها البعض بواسطة سطوح أو فصلات joints الطبقية لا تزال تسمى strates أو سافات Lits[(١)] ولهذا يقال أن الطبقات الرسوبية متطبقة (متنضّدة Stratifiées ou litées). فالطبقة هي إذن سماكة الأرض التي تملك تفرداً واضحاً وصفات صخرية (بتروغرافية) معينة.

إن صفاً أو سافاً banc كلسياً هو طبْقة strate، وطبقات المارن الشيستية التي تفصل بين الصفوف الكلسية المتعاقبة هي طبقات strate. ولكن الطبقة Couche هنا ليست متجانسة، لأنها مؤلفة من وريقات متعاقبة تكون جميعاً من طبيعة واحدة. ففي الحالة الأخيرة، وعندما يكون لدينا سمك كبير من الصخور الرسوبية، نستعمل غالباً عبارة litage أو تورق feuilletage[(٢)]، ونحتفظ بعبارة طبقية للمجموعات المؤلفة من طبقات مختلفة (مارنو ــ كلسية ومارن، خرسان وشيست ميكاسي أو ميكاوي micacés ... إلخ). وعندئذ يتكرر تعاقب الطبقات بانتظام وعلى سماكات عظيمة أحياناً، مما يعطي الصخر مظهراً مخططاً مميزاً عندما لا تكون الطبقات سميكة جداً (مارن ــ كلسي نيوكومي، خرسان Taveyannaz وخرسان شامبسور ... إلخ). وعندما تكون الطبقات strates، كحالة الكلس النقي في التشكلات الرصيفية، فإن الصخر يتخذ حينئذ شكلاً متكتلاً (شكل ١٦٠).

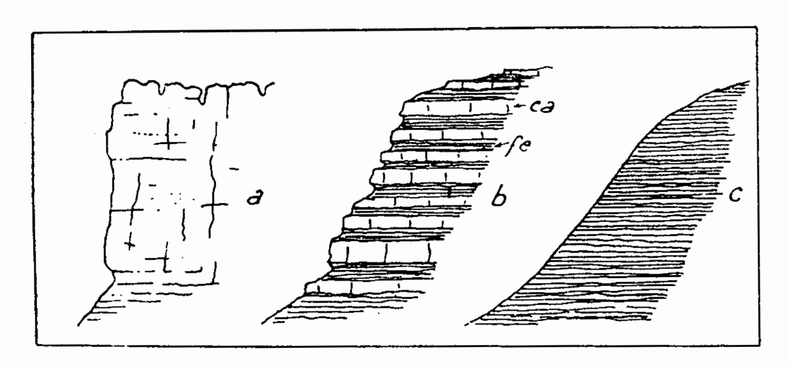
ويمكن للطبقات أن تمتد على رقعة كبيرة جداً، وخاصة عندما تكون قد

---

(١) يكاد يكون معنى طبقة couche و lit و Strate و banc و assise باللغة الفرنسية متشابهاً.

(٢) هذا التورق لا يجوز خلطه مع الشيستوية (أو الانفصام clivage الشيستي) الذي ينتشر في بعض الصخور (المارن والغضاريات) على أثر الضغوط الأوروجينية (المولدة للجبال) والتي تكون أحياناً مائلة بالنسبة للطبقية.

تشكلت في مياه عميقة، ولكنها قد تصبح رقيقة أو تتحول إلى شكل عدسة، عندما تكون الظاهرة التي كانت تغذي الترسب قد توقفت عن العمل.



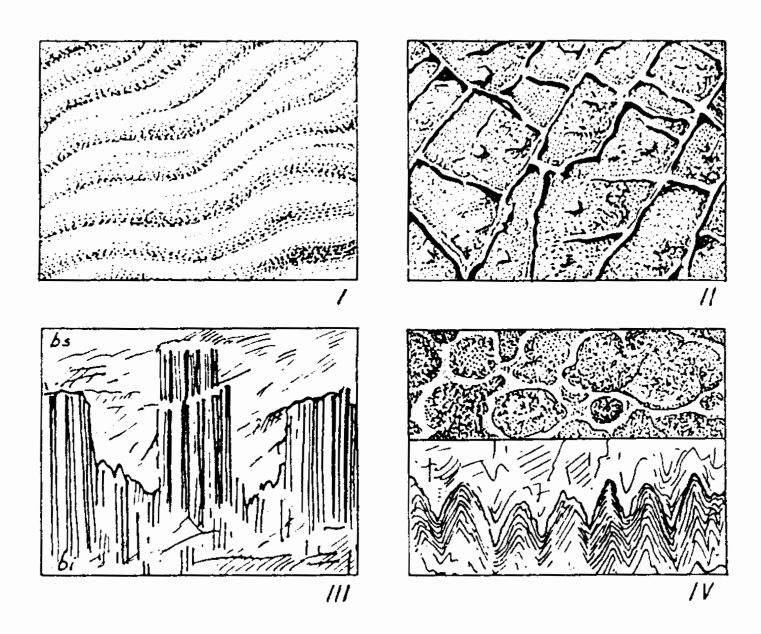
شكل ١٦٠ ــ **التطبق والتورق**. a، كلس متكتل (كلس مرجاني مثلاً أورغوني) (جرف أو جدار **falaise**). b، مارنو ــ كلسي (سافات bancs أو طبيقات strates كلسية، ca، مفصولة عن بعضها بطبقات متورقة. fe). (حدور عنيف الانحدار). c، مارن متورق (انحدار لطيف). تكون في الحالات الثلاث الطبقات مستمرة ومتوافقة **Concordantes**.

وقد يحوي سطح فصْلات joints الطبقية أحياناً بوادر عدم الترتيب: وتسمى **الجعدات التموجية ripple-marks** أو آثار التيارات، أو الريح، أو آثار الأمواج[1]، وتصدعات وشقوق التراجع retrait الناجمة عن التجفف، وآثار قطرات المطر، وآثار الحيوانات، وبنية **المخاريط المتداخلة cone in cone** وبنية عمدية. ولا تزال الأشكال الأخيرة عبارة عن شذوذات غريبة، غير مفسرة، إذ تكون على شكل مخاريط أو أعمدة صغيرة محززة تتعشّق ببعضها من طبيقة لأخرى bancs (شكل ١٦١).

وتتراءى الطبقية، وهي صفة أصيلة للصخور الرسوبية، بنسق نطاقي للعناصر، وباصطفاف البقايا المستحاثة، وتنم فصْلات الطبقية عن توقّفات في الترسب. وتكون هذه الفصْلات أحياناً متموجة (مثل السافات الكلسية في طبقة **Wellenkalk** (قاعدة الترياس الأوسط) الجرمانية، المفصولة عن بعضها بطبقات مارنية). كل هذا يدل على أن الشروط التي تنظم الترسب في حوض ما تكون متبدلة جداً. ولو كانت

(١) لقد لوحظت أمثال هذه الآثار في البحر حتى عمق ١٨٠٠م، حيث تكون متناظرة في مثل هذه المناطق، وغير متناظرة في المناطق الأكثر قرباً للساحل.

هذه الشروط، على العكس، غير متبدلة، ولو كانت المواد الفلزية المجلوبة دائماً هي ذاتها، لكان تركيب التوضع متجانساً والطبقية مفقودة. وهناك أمر يظل عسير التفسير ونقصد به الترسب الدوري، ذلك الذي أنتج تناوبات متكررة للغاية مؤلفة من سافات صغيرة مارنية ــ كلسية ومن مارن متورق مثلاً. ولا نزال نجهل حتى الآن تقريباً معرفة أصل التبدلات الصغرى والمتكررة في البيئة، والتي هي لا غنى عنها لشرح هذه البنية.

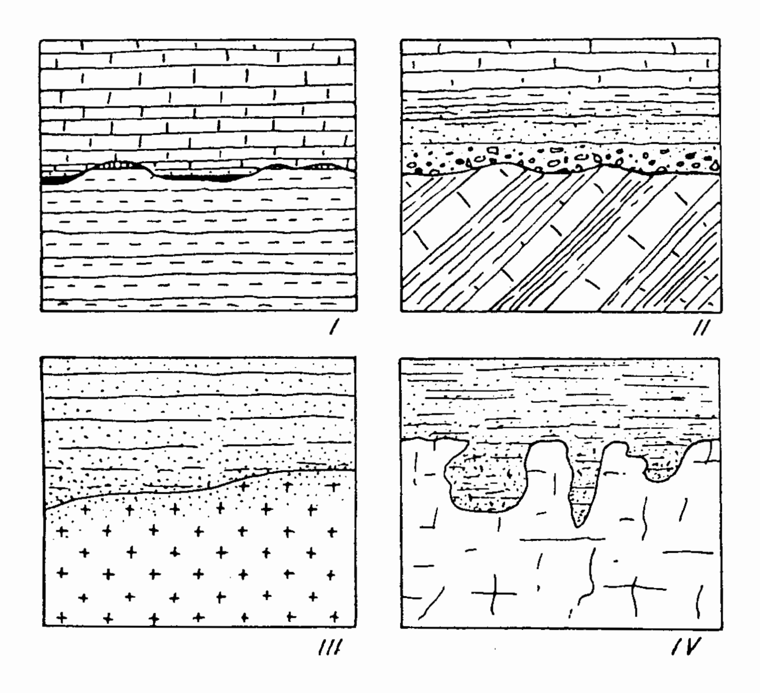


شكل ١٦١ ــ **منظر سطح الطبقات** (**فصلات joints**). I، إشارات الجعدات التموجية ripple-marks (آثار الموجات أو الريح) (حث أحمر ترياسي). II، تصدعات (شقوق التجفف المملوءة برمل) (حث «حجر رملي» ترياسي). III، ستيلوليت، عمديات (الساف الأسفل bi، وهو أكثر قساوة، تدخل في الصف الأعلى bs، فأعطى عميدات صغيرة مشققة). IV، بنية «مخروطية متداخلة» (بالأعلى سطح السافات، بالأسفل، مقطع) (كامبري، بجبال الأطلس الكبير بالمغرب). والشكلان الأولان مصغران جداً، بينما الشكلان الآخران بالحجم الطبيعي.

كما نجهل أيضاً الزمن الذي اقتضاه تشكل سماكة معينة من الراسب. **ولأول وهلة**، يجب أن يكون هذا الزمن شديد التنوع وعلى علاقة بغزارة المواد؛ فيكون نسبياً قصيراً بالنسبة لتشكل صخور حطامية أو لترسيب كيماوي، ويجب أن يكون أطول من ذلك بالنسبة لتشكل صخور بحرية تنتج عن تراكم جزيئات معدنية دقيقة جداً

عامت قبل أن تتوضع. وفضلاً عن ذلك، يجب أيضاً أن ندخل بالحسبان الزمن الذي تستغرقه الفواصل الزمنية بين الطبقات المتعاقبة.

وهكذا نرى كم تكون عرضة للشك تلك الأرقام المطلقة عن مدة الأزمنة الجيولوجية المستندة إلى الطرائق الرسوبية. إذ لم يتم الترسب بسرعات مختلفة فحسب بل، حتى بالنسبة لعصر معين، سنرى أن هذا الترسب كان متبدلاً للغاية حسب المناطق. فتلك الطبقة التي لا يتجاوز سمكها بضعة أمتار في الحوض الباريسي تتخذ في جبال الألب أو البيرينيه سماكة تبلغ بضع مئات من الأمتار[1].



شكل ١٦٢ ــ **تنافر الطبقية أو التطبق**. I، تنافر بسيط. II، تنافر زاوي. III، تنافر فوق غرانيت متفسخ (بالأعلى، آركوز). IV، تنافر حاصلات التأكلس في تجاويف صخر كلسي.

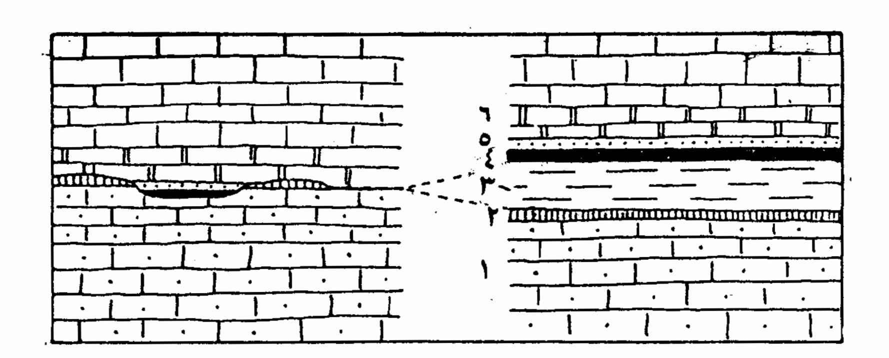
---

(١) بيد أننا رأينا بالسابق أن تقديرات جدية أمكن القيام بها بالنسبة «للتطبقات الحزامية varves» السنوية.

II ـــ التوافق والتنافر Concordance et discordance

عندما تكون طبقات أرض ما مرتصفة بانتظام على شكل زمر متوازية بعضها فوق البعض الآخر، يقال هناك **توافق في الطبقية**. وهذا يستدعي استمرار الترسب وثبات الشروط المختلفة التي أنتجته.

ولكن قد يصدف أن تتابع الطبقات لا يكون مستمراً وأن الطبقات العليا لمجموعة تكون ملتصقة فوق سطح مخرّش للطبقات السفلى. فيقال حينئذ أن هناك **تنافر** وهذا التنافر يمكن أن يكون **بسيطاً** أو **زاويّاً**، وذلك فيما إذا كانت الطبقات السفلى موازية تقريباً للطبقات العليا (شكل ١٦٢)، أو على العكس، في اتجاه مائل جداً بالنسبة لهذه الطبقات، التي تقطعها حينئذ على شكل مشدوف **en biseau**. وإن تنافر ما يقتضي بالضرورة وجود **انقطاع** في استمرارية الترسب؛ أي **ثغرة طبقية**. فبعض الطبقات، أو بعض مجموعات الطبقات التي ترسبت في أمكنة أخرى، حيثما كان الترسب مستمراً، نفتقدها هنا (شكل ١٦٣).



شكل ١٦٣ ـــ ثغرة طبقية.

زمرة ثغرية (تنافر بسيط، إلى اليسار، الطبقة رقم ٣ مفقودة).

على اليمين زمرة كاملة، مستمرة.

وتنتج هذه التنافرات أحياناً عن حركات الأرض، فتكون حينئذ جزيلة الفائدة

لتأريخ التخلعات dislocstions وبالتالي تأريخ السلاسل الجبلية، لأنها تعتبر كقرينة لظواهر الالتواء الهامة أحياناً، والتي أعقبتها أدوار حتية متفاوتة في حدتها وفي مدتها [1].
ولكن وجود ثغرة لا يستدعي بالضرورة وجود حركات تكتونية (بنائية) مصحوبة بعوم émersion، لأننا نعرف بالواقع ثغرات تسمى رسوبية ناجمة إما عن انعدام الترسب في فترة معينة، وإما عن كشط طبقات موجودة بواسطة التيارات البحرية العميقة.
وتسمح الملاحظة الدقيقة لسطح السافات حينئذ بكشف طبقات مبرية، محمرة وأحياناً محفّرة بفعل عضويات من آكلات الوحل أو cavicoles، مما يدل على نحت تحتمائي بحري[2]. ودراسة المستحاثات تؤكد من ناحية أخرى وجود هذه الثغرات.

III ـــ الطغيانات والانحسارات

يقال أن طبقة ما هي طاغية عندما تمتد على نطاق واسع فوق أساس تنفصل عنه بثغرة هامة.

ويكون سطح هذا الأساس، غالباً، متصلباً، مخدّداً ومثقباً بفعل عضويات من آكلات الصخر الساحلية وتبدأ الطبقات الطاغية في أكثر الأحيان برصيص Conglomérat يحتوي على حصباء من الصخور السفلى (شكل ١٦٤). وتشير الطغيانات إلى فترة اجتياح القارات من قبل البحار، فهي تشمل إذن سطحاً عظيماً وتستدعي بالضرورة خفساً تدريجياً اعترى الأراضي العائمة. ودراسة الوحيشات، التي تكون هنا مختلفة جداً، وهي التي توضح سعة الثغرة ومداها.

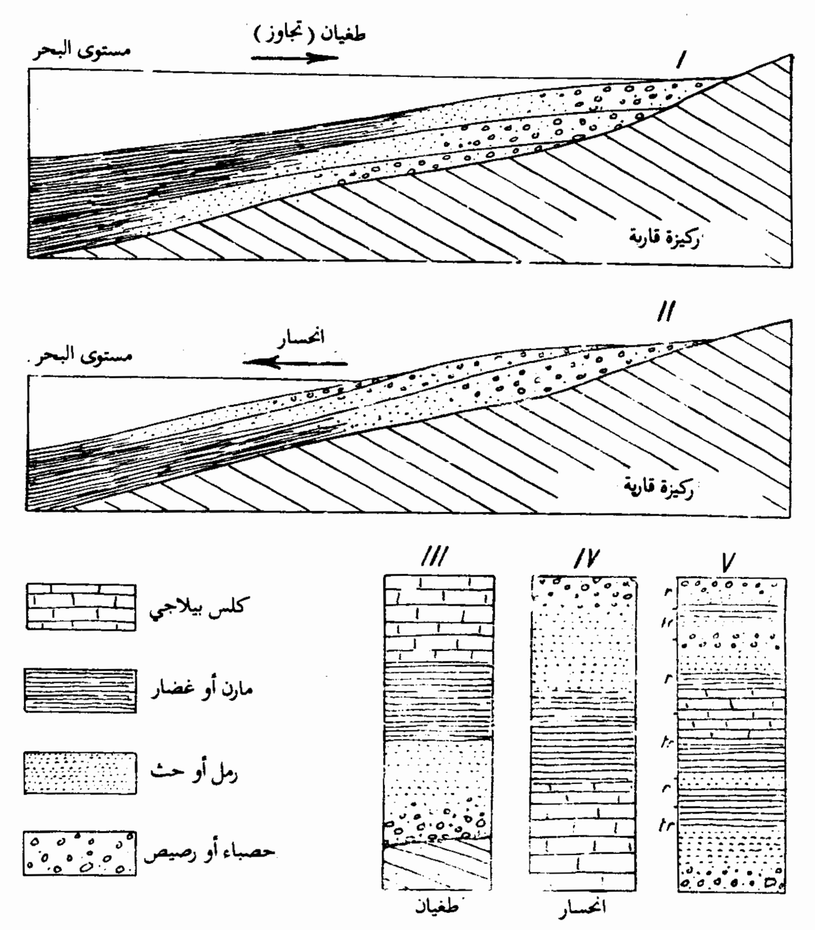
وتطلق عبارة الانحسار على ظاهرة معاكسة؛ وتكون طبقة ما منحسرة عن

---

(١) قد يصدف أن تؤدي أطوار حتية طويلة إلى تسوية كلية ملتوية. وإن سطحاً مستوياً كهذا يسمى شبه سهل. وهكذا ففي شمال فرنسا ترقد الطبقات الكريتاسية ذات الطبقات الأفقية فوق صخور الحقب الأول المسوّاة تماماً على شكل شبه سهل (شكل ٢٧٤).

(٢) لا مجال هنا لفرض وجود ثغرات تكتونية ناجمة عن انفصال décollement الطبقات أو ظواهر أغشية جرف أدت إلى حوادث تماس غير عادية مصحوبة بظواهر مط متفاوتة الأهمية.

السابقة عندما تكون أقل اتساعاً منها . وتتألف الزمر المنحسرة من توضعات متناقضة العمق تشهد على نهوض عام للركائز القارية .



شكل ١٦٤ ــ **الطغيان والانحسار** . I ، مخطط لطغيان . II ، مخطط انحسار . III ، مقطع لزمرة طاغية . IV ، مقطع لزمرة منحسرة . V ، تعاقب طغيانات وانحسارات في زمرة معقدة (دورة رسوبية) .

٢ ــ تحديد أعمار الطبقات

لا يمكن التكلم هنا إلا عن عمر نسبي ، لأننا إذا كنا قد استطعنا ، بالنسبة

للصخور الإندفاعية، الكلام عن عمر مطلق، فإن الأمر يندر أن يكون ممكناً بالنسبة للصخور الرسوبية.

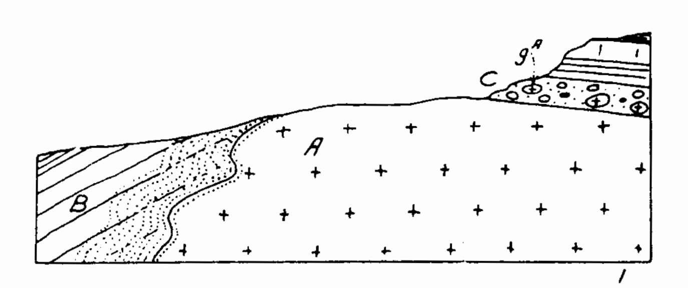
وهذا العمر يمكن تحديده بواسطة فحص بسيط لتعاقب الطبقات، حسب مبدأ واضح، هو مبدأ **التنضد Superposition** الذي يمكن أن يفسر على الصورة التالية: إذا كان نظام التوضّـع عادياً؛ أي لم يتعرض للاضطراب بحركات أرضية، فإن طبقة معينة تكون سابقة للتي تمتطيها، وسابقة للتي تقع تحتها.

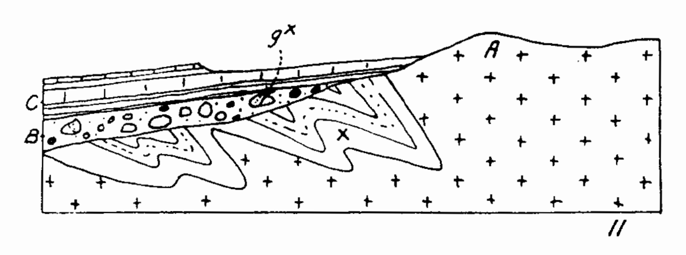
وهكذا نقيم ما يمكن تسميته **مقطع محلي**. وفي أبسط الحالات، يضم مقطع كهذا تعاقباً من طبقات معروفة جيداً ومن طبيعة صخرية مختلفة: حث، كلس، مارن مثلاً. والتعاقبات من هذا النوع هي التي استطاعت في بادئ الأمر أن تلفت أنظار أوائل الباحثين والتي لا يزال المنّـقبون والعاملون في المقالع يلاحظونها. وعندما تكون الطبقات حاوية على مستحاثات، فإن التقاط المستحاثات، التي تختلف غالباً من طبقة لأخرى (وقد يمكن العثور على مستحاثات مميزة)، يضيف إلى الحجة الليتولوجية الحجة الاستحاثية لتمييز الطبقات. وتكون هذه الحجة مفيدة جداً عندما نكون أمام تعاقب من طبقات متماثلة جميعاً ومتوافقة، وذات بنية متورقة، مثلاً: فتمييز الانقطاعات يكون هنا استحاثياً فقط. ولكن في هذه الحالة، لا تختلف المستحاثات كثيراً عن بعضها بين طبقة وأخرى لأن الوحيش قد تطور على الغالب محلياً.

أما في حالة طبقات متنافرة، فهناك تضاد جلي بين زمرتين من الطبقات، كما يكون الوحيش في الزمرة السفلى دائماً مختلفاً جداً عن وحيش الزمرة العليا الطاغية. وسنرى بالفعل أن عودة البحر تكون مصحوبة على العموم بتجدد في الوحيشات (فونا).

حالة فريدة: عمر زمر اندفاعية ومتبلورة تورقية: عندما نكون تجاه كتلة غرانيتية مندسة في زمرة رسوبية، وأدت إلى تحولها، فالمسألة تقتضي معرفة عمر استقرار الباتوليت في مكانه (شكل ١٦٥، I). ويعطي عمر أحدث الطبقات، الحاوية على المستحاثات، التي أصابها التحول، الحد الأدنى للاستقرار، لأن الغرانيت أحدث من

هذا الرسوبي ، وأن عمر أقدم أرض تحتوي على حصباء من الغرانيت المذكور تعطي حداً أعلى فعمر الغرانيت يكون منحصراً إذن بين هذين الحـدّين .





شكل ١٦٥ ــ **عمر زمرة متبلورة**. I ، تحديد عمر كتلة غرانيتية . إن عمر الغرانيت A ينحصر بين عمر أحدث الأراضي (R) الذي عمل على استحالتها (الحد الأدنى) وبين عمر الرصيص (C) الذي يحتوي منها على حصباوات (gA) (الحد الأعلى) .

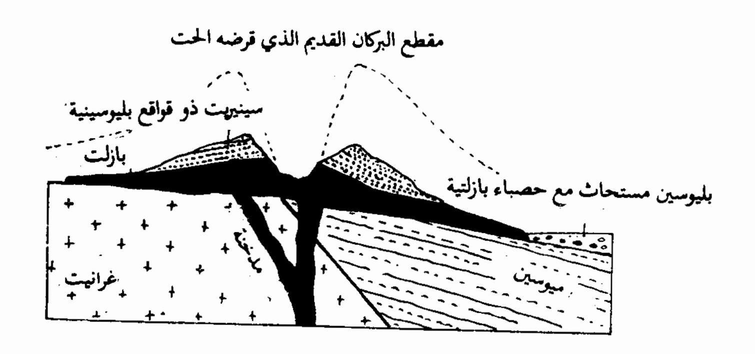
II ، تحديد عمر مركب متبلور تورقي (X) : لقد أمكن تحديد (وهذا ليس دائماً سهلاً) أن X تعود للديفوني الذي تحول بواسطة الاستحالة ، غير أن الأرض B ، التي تعود للكاربونيفيري الأعلى ، تضم حصباء من X (gX) وتنتسب الاستحالة العامة إذن إلى عمر كاربونيفيري أسفل أو أوسط .

ولكن لا يكون دائماً من الميسور الحصول على تأريخات دقيقة جداً إذ يجب في أكثر الأحيان الاكتفاء بعمر تقريبي .

أما بالنسبة للمركّـبات المتبلورة الورقية Cristallophylliens ، فالمسألة مزدوجة (شكل ١٦٥ ، II) ، إذ يجب أولاً تحديد عمر الرسوبات التي أصبحت متبلورة ، ثم عمر التحول . ولا يمكن حل النقطة الأولى إلا باكتشاف مستحاثات في أقل الصخور المتبلورة الورقية تحولاً ، أو التعرف على الانتقال التدريجي لصخور رسوبية مؤرخة جيداً ، وإن حالات كهذه هي نادرة جداً ولكنها موجودة (انظر الفصل الرابع) . ولتحديد

عمر الاستحالة، تتخذ الطريقة التي اتبعت بالنسبة للكتل الغرانيتيـة؛ أي يجب اكتشاف حصباء من الزمرة المتحولة في الطبقة الرسوبية (المؤرخة جيداً بمستحاثاتها) التي تغطي الزمرة المعينة. وأحياناً لا يمكن حل أي من هاتين المسألتين فلا يمكن تحديد المركّبـات الاستحاليـة إلّا تقريبيـاً، عن طريـق موقعهـا بجوار تشكـــلات ذات عمر معروف.

أما فيما يتعلق بالصخور المتدفقة (شكل ١٦٦) فمن الواضح أن عرقاً من البازلت مثلاً يكون أحدث من الصخر الذي يخترقه وأقدم من كل صخر يستره أو يحتوي على حصباء من هذا البركان، وفضلاً عن ذلك فإن عرقاً مُصالِباً هو أحدث من عرق مُصالَب. كما يستنتج عمر مسكوبة coulée ما من عمر الرسوبات التي تقدمت من فوقها أو من التي تغطيها.



شكل ١٦٦ ـــ تحديد عمر الصخور البركانية.
يعود البركان هنا للبليوسين الأعلى (نموذج براكين الكتلة المركزية).

طبقية الصخور المتبلورة التورقية: لا يمكن استعادة تصور الطبقية القديمة وإثباتها في مركب صخري متورق إلّا في حالات نادرة بسيطة. وفي أغلب الأحيان، يجب أن نقتصر على البحث عن موضع التورق، وهي صفة ظاهرة دائماً والتي تحل محل طبقيـة الأراضي الرسوبيـة، وكـذلك الحال في نطاقـات الاستحالـة المتساويـة

isométamorphisme . وستقام هذه النطاقات بدراسة تجمعات الفلزات minéraux حسب غروبنهان (انظر ص١٠٦) ولكن بالنسبة لبعض المناطق لا تؤلف الزمر التقليدية على شكل نطاقات لهذا المؤلّف وهي فوق épi ، أوسط méso ، وتحت cata ، أقول لا تؤلف مجموعات جيولوجية واضحة جيداً لذا وجب تبني سلّماً آخر للفلزات. ولهذا ميز العالمان J.Jung و M.Roques في الكتلة المركزية الفرنسية من الأسفل للأعلى، ابتداءً من الميغماتيت (صخور شيست متبلورة محقونة بغرانيت): **نطاق الغنايس** أو النطاق الصفاحي (الفلدسباتي) وينقسم ذاته إلى **غنايس أسفل** متميز بوجود فريد لميكا سوداء **وغنايس أعلى** حيث توجد الميكا السوداء إلى جانب الميكا البيضاء. **نطاق الميكاشيست** أو النطاق الكوارتزي التورقي وينقسم إلى **ميكاشيست سفلي** مع نوعي الميكا المجتمعتين **والميكاشيست العليا** حيث لا نجد سوى ميكا بيضاء مع بعض الكلوريت وبعض السيريسيت Séricite . ونلاحظ أمراً هاماً هو أن جبهة الميغماتيت (انظر ص ٣٤٥) تختلف باستمرار من الشمال إلى الجنوب، وهكذا نجد في الجنوب، في منطقة سيفين والجبل الأسود، أن هذه الجبهة تقع في الميكاشيست الأعلى، وفي منطقة رويرغ Rouergue ، نجدها تهبط في الميكاشيست الأدنى، بينما تبلغ الغنايس الأعلى في مناطق ليموزان، كانتال، ومنطقة ليون، وإلى الشمال من ليموج وبريود Brioude وفي منطقة شارولية Charolais تظل الجبهة، كما في أقصى شمال الكتلة (مورفان)، في الغنايس السفلي. وقد أمكن تطبيق هذا التصنيف بنجاح في جبال الفوج.

٣ ــ توافق الطبقات Synchronisme \ أو تزامنها

من الأهمية بمكان مقارنة مقاطع محلية ومحاولة إجراء مقاربة بين طبقاتهما لصنع ما يسمى بالتوافقات أو التزامنات. وبالواقع كثيراً ما تكون علاقات التأريخ متماثلة لأن المقاطع المتجاورة مؤلفة من طبقات متشابهة بكل دقة.

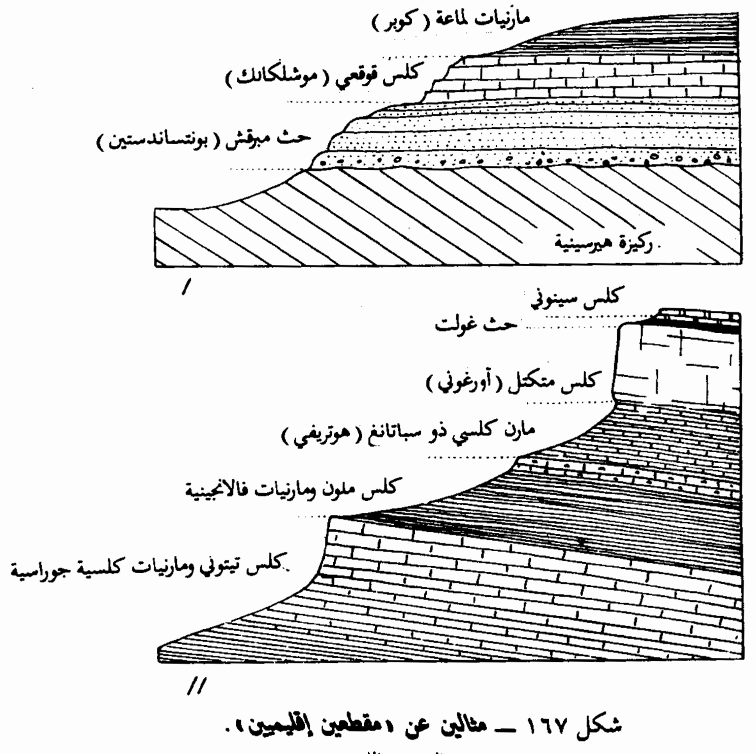
ولكن لا يمكن أن نعتمد فحسب على الارتفاع النسبي للطبقات للحصول على تواقتات. ورغم أن الطبقات من نفس العمر فإنها كانت متوضعة بالأصل حسب مستويات أفقية، فلا تكون طبقة ما دائماً في امتداد الأخرى، لأن لهذه الطبقات استمراراً محدوداً، كما أن وجود كسور مصحوبة بتفاوتات في المستوى ممكن دائماً. ويكون هذا المبدأ أحياناً مغلوطاً حتى في المناطق ذات البنية المائدية حيث ظلت الطبقات أفقية، ولكن خاصة بالنسبة للحقيات الرباعية، ولا سيما بالنسبة للطبقات المرتصفة على شكل مصاطب، لأن أقدم الطبقات هنا، تكون على العكس، في الأعلى.

وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار هذه الملاحظات، وبعد فحص بسيط لتعاقب مقاطع محلية، نستطيع حينئذ إقامة **مقطع إقليمي** هو بمثابة مفتاح طبقي لمنطقة ما. وهكذا لاحظ الجيولوجيون القدامى، في جبال الفوج وفي اللورين (شكل ١٦٧، I)، أن أوائل الأراضي الأفقية التي تغطي بشكل متنافر طبقات الحقب الأول المنتصبة، كانت تضم دائماً ثلاث فئات هي من الأعلى للأسفل: صخوراً مارنية حمراء جبسية وملحية (كوبر)، وكلساً قوقعياً (موشلكالك) وصخوراً حثية (رملية) مبرقشة **(Butsandstein)** ومنها اشتق اسم ترياس الذي أطلق على هذا المجموع الذي يصادَف، دون تغير كبير، في قسم كبير من أوروبا. كما لوحظ في الحوض الباريسي أيضاً وجود ثلاثة مستويات رملية منفصلة عن بعضها بطبقات كلسية أو غضارية: وهي الرمال السفلى، والوسطى، والعليا. أما في الجبال شبه الألبية في مقاطعتي الدوفينة والسافوا فإن تناوبات الحدورات **talus** والجروف **falaises** الناجمة عن اختلافات في قساوة الطبقات هي التي أدهشت أوائل الباحثين (شكل ١٦٧، II) كما يمكن تكرار الأمثلة في هذا المضمار.

وهكذا فإن الاهتمامات الليتولوجية، أو بعبارة أخرى طبيعة الطبقات المتعاقبة والموجودة دائماً في الترتيب نفسه، على مسافات كبيرة، سمحت، خلال زمن طويل، وعند تطبيق مبدأ آخر يسمى **مبدأ الاستمرارية continuité**، بصنع تواقتات لحد

ما [1]. وكان يمكن تخمين أن طبقات من التركيب نفسه كان يجب أن يكون لها العمر ذاته وكان هناك، بالتالي، نوع من استمرار في الترسب.

غير أن هذا الزعم على غاية من الخطل، لأننا نعرف الآن أن طبقات من العمر نفسه يمكنها أن تظهر تحت مشاهد شديدة الاختلاف وأن مبدأ الاستمرارية هو دائماً على خطأ.



شكل ١٦٧ ـــ مثالين عن «مقطعين إقليميين».
I، ترياس الفوج واللورين.
II، الحافة شبه الألبية (جوراسي وكريتاسي).

والواقع هو أن استمرار الطبقات قد يدخل عليه الاضطراب بفعل الحت أولاً،

---

(١) لقد كان مفهوم الطابق étage بذلك بالبدء مفهوماً ليتولوجياً بحتاً، وهو أمر كان يعبر عنه بالضبط بأسماء أطلقت على مختلف التشكلات: غضار مرن، كلس قوقعي، حث أخضر، حث قديم أحمر، مرجاني ... إلخ.

ثم بفعل الاستحالة، ولكن خاصة بواسطة حوادث الطغيان وتبدلات السحن (شكل ١٦٨).

الطغيانات

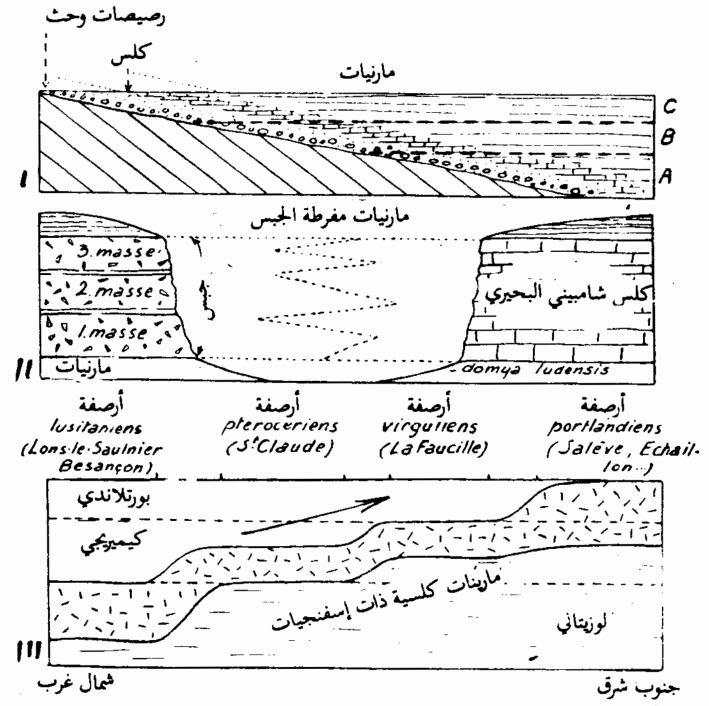
لقد رأينا أن زمرة ما تكون طاغية عندما تمتد على نطاق واسع فوق أساس substratum تكون منفصلة عنه بثغرة هامة. إنها إذن عبارة عن رسوبات توضعت من قبل بحر اجتاح تدريجياً سطحاً قارياً كبيراً نوعاً ما. ويكون سطح هذا الأساس مخدداً أحياناً وتبدأ الطبقات الطاغية عموماً بواسطة صخر رصيص. ولكن بما أن الرصيص الأساسي ينم عن حافة البحر المجتاح، فإن هذا الرصيص لا يكون دائماً من العمر نفسه، مع أنه يحتفظ في كل مكان بالمشهد ذاته. وينطبق الأمر نفسه على الطبقات الأخرى، ويمكن القول أنه، في زمرة كذا، لا تكون الطبقات التي من نفس الطبيعة الليتولوجية متواقتة بكل دقة وتكون مقطوعة بشكل مائل بواسطة نطاقات من العمر نفسه (طوابق). وهكذا نجد في التموليتي الألبي أن السساف الكلسي نفسه يمكن أن يكون لوتيسياً في نقطة ما، بينما يكون بريابوني Priabonien في نقطة أخرى (شكل ١٦٨، I).

السِحن Faciès

تطلق عبارة سحنة على مجموع الشرائط الجغرافية والبيولوجية المحلية التي حددت الطبيعة الليتولوجية لتوضع ما، وكذلك الأمر بالنسبة للتجمعات الحيوانية والنباتية التي يحتويها هذا التوضع. وقد كان للبحار القديمة، مثل بحارنا، لاغوناتها (بحيراتها الساحلية)، وسواحلها، وأرصفتها المرجانية، وأغوارها الكبيرة، كما كان فوق القارات حينئذ أنهار، وبحيرات، وصحاري... إلخ. أعطت توضعات مختلفة، ولكنها معاصرة، متميزة بمستحاثات خاصة بهذه السحن. فيقال كان هناك سحن ساحلية، مرجانية، لاغونية، عميقة، بحيرية، صحراوية... إلخ.

غير أن السحن قد تعتري سلسلة من طبقات في الزمان أو في المكان، أو بآن واحد في المكان والزمان.

لنكرر مثالنا عن الترياس: فالفحص المتعمق والمقارن للطبقات الثلاث التي تؤلفه يُظهر لنا أن الحث المبرقش الأساسي هو عبارة عن رمال قديمة كثبانية متصلّبة (حبات كوارتز مدورة وغير مصقولة، طبقية متصالبة)، وأن الصخور الكلسية الموجودة فوق الحث هي توضعات بحرية قوقعية (نيريتية، قواقع بحرية)، وأخيراً تكون الغضاريات الحمراء الختامية عبارة عن رسوبات قديمة لاغونية (جبس وملح صخري). ويُستنتج من ذلك أنه كانت هناك قارة صحراوية تعرضت تدريجياً لاجتياح على شكل طغيان بحري، ثم تبخر هذا البحر تدريجياً محلياً وتحول إلى بحيرات ساحلية (لاغونات). ولدينا إذن مثال جميل عن تعاقب مظاهر مختلفة جداً في الزمان.



شكل ١٦٨ ــ **تجديد توافق الطبقات**. I، استمرار الطبقات المضطرب بفعل طغيان (السحن تكون ماثلة بالنسبة للطوابق C, B, A). II، تبدل السحن في المكان: الانتقال من جبس مونتمارتر إلى ترافيرتان شامبيني في وادي المارن. III، تبدلات السحن في الزمان: هجرة أرصفة مدخات في جوراسي جبال الجورا الفرنسية (م. جينيو).

ولكن تبدلات كهذه في السحنة يمكنها أن تحصل في المكان ؛ أي في فترة معينة من تاريخ الأرض. وهكذا نجد في الحوض الباريسي أن جبس مونتمارتر اللودي يتحول إلى كلس شامبيني البحيري في وادي المارن (شكل ١٦٨ ، II).

وقد استطاع العالم هيبير Hébert عند ملاحظته للطبقات التي تتداخل فيها تشكلات مختلفة السحنة ، أقول استطاع منذ عام ١٨٦٠ أن يحدد تواقتها . والواقع هو أن صخور الجبس الباريسية وصخر كلس شامبيني تكون جميعاً محصورة بين مستويات معروفة جيداً ، هي صخور المارن ذات **Pholasomya Ludensis** بالأساس ، وصخور المارن الفوق جبسية في الأعلى . وقد أمكن إثبات ذلك التكافؤ مباشرة أثناء حفر قنال المارن الجانبية ، قرب شاليفير Chalifert ، حيث برزت السحنتان وهما متداخلتان ببعضهما البعض بدون غموض . إذن ، في هذه الحالة ، تسمح الطريقة الطبقية القائمة على استمرار الطبقات الحاضنة encaissantes بتحديد تواقت طبقة ما تبدلت سحنتها ؛ ويجب أيضاً أن يكون الترسب بالضرورة مستمراً في كلتا الزمرتين المقارنتين .

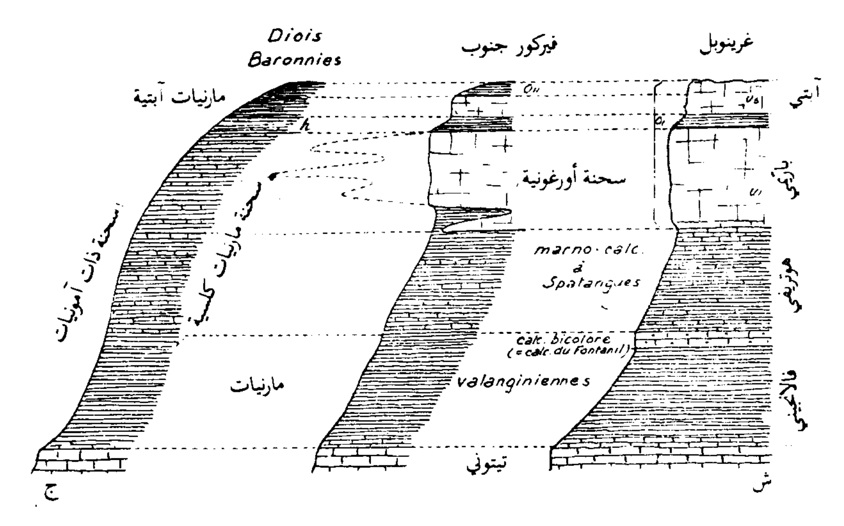
ولكن يجب أن نعترف أن حالات كهذه تكون نادرة نوعاً ما ، وفي أكثر الأحيان ، تضاف إلى تبدلات السحنة في المكان تبدلات في الزمان ؛ أي أن السحن تصعد حينئذ بشكل مائل في زمرة الطوابق الجيولوجية .

وهناك مثلان ، عن تطور السحن الرصيفية خلال الجوراسي الأعلى والكريتاسي ، مثلان يوضحان لنا هذه النقطة .

ففي الزمن الذي لم تكن تبدلات السحن قد دخلت بعد في المجال الجيولوجي المألوف ، كان العلماء يقبلون بأن الصخور الكلسية السميكة الرصيفية التي تندمج في الجوراسي العائد للحافة الشرقية للحوض الباريسي ، بين الأوكسفوردي والكريتاسي ، كانت كلها من العمر ذاته وتمثل طابقاً مرجانياً Corallien . وفي كل مكان تظهر فيه مثل هذه الصخور الكلسية ، وذلك إلى الجنوب من تلك المنطقة ، وعلى الأخص في السافوا وبجوار غرينوبل ، كان يقال عنها إنها عبارة عن الطابق المرجاني Corallien . وفيما

بعد، وبوقت متأخر، أدرك الجيولوجيون بعد مناقشات حادة، أنهم تجاه سحنة لم تكن من نفس العمر في كل الأمكنة، وأنها تزداد حداثة كلما اتجهنا نحو الجنوب (شكل ١٦٨، III). وهكذا أصبح مفهوماً أن الأرصفة هي لوديتانية عند Saint-Clausse و Lons-le-Saunier، وكيميرجية في منطقة Saint-Claude و la Faucille، وأخيراً تصبح بورتلاندية عند Salève، و Chambéry وعند Echaillon قرب غرينوبل (شكل ٢٨٠). وقد نتجت هجرة المدخات (بولييات) جنوباً عن تعديلات مناخية وعن تفـرُّد نطاق استوائي حار.

هذا ويكون تاريخ الأورغوني، وهو تشكل رصيفي متدخل في الكريتاسي الأسفل، مماثلاً (شكل ١٦٩). ومع أنه يمثّل آلب السافوا في البرتغال، من حيث الصفات الليتولوجية نفسها، فإن عمره يكون متبدلاً؛ فهو باريمي وآبتي أسفل في السلاسل شبه الألبية بالمنطقة الدوفينية والسافوية وقسم من البروفانس، ويطابق الآبتي في جبال البيرينيه (كلس أورغوني ـــ آبتي) وحتى الآلبي Albien في شبه جزيرة إيبريا. ومن المفيد أن نذكر كيف حددت تواقتات هذا الأورغوني مع الطوابق التقليدية المتميزة بنطاقات الأمونيات؛ أي بمستحاثات تملك قيمة تأريخية مستقلة عن السحن. ففي جنوب مدينة غرينوبل نشاهد انتقالاً جانبياً من الجروف الأورغونية العائدة لمنطقة Vercors نحو الصخور المارنية الكلسية لمنطقة Diois. والأساس الأقصى للأورغوني، المؤلف من صخور كلسية صفراء، يشتمل هنا على أنواع الـ **Hoplites** الموجودة في الطبقات الانتقالية من الباريمي إلى الهوتريفي. والطبقة السفلى ذات Orbitolines التي تظهر في الثلث العلوي من الأورغوني تتقدم لتندمج في طبقة مارنية ذات **Heteroceras** تعود للباريمي الأعلى، بحيث تكون الكتلة الرئيسية للأورغوني (الكتلة الأورغونية السفلى) باريمية. وأخيراً فإن الأورغوني، الذي يقع فوق الطبقة السفلى ذات Orbitolines (الكتلة الأورغونية العليا) يكون نفسه مغطًّى بطبقة عليا ذات Orbitolines تضم، في منطقة Vercors، آمونيات تعود للآبتي الأسفل وتتحول في منطقة Diois إلى صخور مارنية آبتية. وهكذا نجد أن السحنة الرصيفية الأورغونية تقابل بالتالي، في أوروبا الغربية، الباريمي والآبتي الأسفل.



شكل ١٦٩ ــ تبدلات السحن في الكريتاسي الأسفل، في جنوب شرق فرنسا. الانتقال من الزمرة البحرية الساحلية (النيريتية néritique) في ضواحي غرينوبل (طوابق ليتولوجية) إلى الزمرة العميقة «للحفرة vocontienne» (مارن وكلس ومارن) حيث لا تكون الطوابق محددة بنطاقات الأمونيات. ٥، طبقة ذات أوربيتولين سفلى، ٥ً، طبقة ذات أوربيتولين عليا. Ui ، كتلة أورغونية سفلى. Us ، كتلة أورغونية عليا. j ، مارن ذو Heteroceras .

وهكذا نرى أن مبدأ الاستمرارية لا قيمة له إلا إذا قبلنا بتبدلات السحنة وأن تدخل علم المستحاثات الطبقي يكون هنا أمراً لا محيد عنه.

وفي كثير من الحالات، وحيثما يكون استمرار الطبقات مفقوداً، تصبح الدراسة المتعمقة للمستحاثات هي وحدها التي تسمح بتحديد تواقتات على مسافة طويلة، ولقد رأينا أن الـ Graptolithes وثلاثيات الفصوص بالنسبة للحقب الأول، والأمونيات بالنسبة للحقب الثاني، والفقاريات بالنسبة للثالث، تستطيع خاصة، في هذه الحالة، أن تقدم خدمات جلّى.

ولكننا نعلم أن بعض مستحاثات السحنة يمكن أن تستخدم أيضاً لعمل انقطاعات في النطاقات: مثل المدخات والنباتات بالنسبة للحقب الأول، والروديست Rudistes بالنسبة للحقب الثاني، وكبار المنخربات (فلسيات، Orbitoïdés) بالنسبة للثالثي. ويمكن للتكافؤ بين سلالم مستحاثات السحنة هذه وبين السلالم التقليدية للمستحاثات المميزة، يمكن تطبيقه حينئذ في مناطق تشابك السحن التي تسمح

باكتشاف مستويات شاهدة جيدة وحيث تكون هذه المستحاثات فيها مختلطة (مثال تداخلات intercalations بحرية في الوستفالي ذو النباتات في شمالي فرنسا وتداخلات طبقات رأسيات الأرجل في سحن قوقعية أو رصيفية، طبقات بحيرية تفصل طبقات بحرية ذات فلسيات ... إلخ).

٤ ـــ الطبقية والتكتونيك

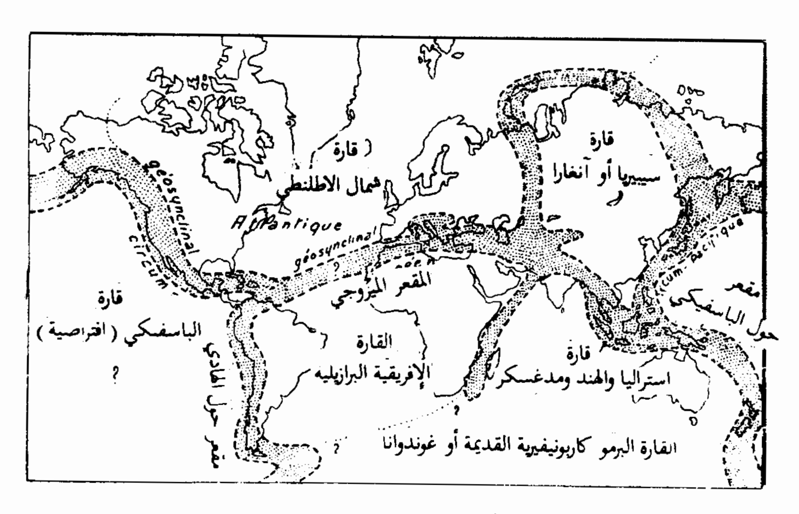
من العسير على عالم طبقي (ستراتيغرافي) مهتم بالتركيب ألّا يكون عالماً تكتونياً، لأنه، كما سنرى بعد قليل، أن حركات الأرض (التي تؤلف دراستها علم التكتونيك) هي التي تؤدي إلى الطغيانات والانحسارات البحرية وتنظيم توزع وتراكم الرسوبات[1]. لهذا نعتقد أنه من المفيد الإلحاح منذ الآن على العلاقات المتبادلة بين هذين الفرعين من الجيولوجيا.

يقود التاريخ الجيولوجي للأرض، كما رأينا ذلك سابقاً، إلى بناء وتهديم السلاسل الجبلية المتعاقبة. ويشتمل كل من دورات هذا التطور، الذي يشغل فاصلاً زمنياً عظيماً، يشتمل على مرحلة تحضير رسوبية تعقبها مرحلة التوائية رئيسية. ولكن حركات الأرض تستطيع أن تتدخل باكراً جداً، خلال المرحلة الرسوبية، وتكون المرحلة الالتوائية مصحوبة دائماً بحتٍّ شديد يفتتح المرحلة الرسوبية للدورة التالية. وهكذا انتصبت بضع سلاسل على سطح الكرة الأرضية، كالسلسلة الهورونية، وهي أقدمها (سابقة للكامبرية)، والسلسلة الديفونية (قبل ديفونية)، والسلسلة الهيرسينية (كاربونيفيرية) وأخيراً السلسلة الألبية، وهي أحدث هذه السلاسل، والتي وقعت في آخر الحقب الثالث.

غير أن لدن التحضير الرسوبي لكل دورة، تكون الجغرافية القديمة تحت هيمنة

(١) وهذا ما سمح لنا سابقاً بفهم سبب كون نطاقات السحن تكون في أغلب الأحيان مطابقة للنطاقات التكتونية.

عنصرين أساسيين هما الرقع القارية، وهي حجرات **Compartiments** صلدة نسبياً من القشرة الأرضية، والمقعرات الأرضية (هوغ)[1]، (شكل ١٧٠) التي تتجول بين هذه القارات وهي عبارة عن حفر ترسب حقيقية تكون أساساً غير مستقرة.



شكل ١٧٠ ــ المقعرات الأرضية والرقع القارية خلال الحقب الثاني (عن هوغ).

أ ــ الرقع القارية

بالرغم من اشتهار هذه الرقع بأنها مستقرة، فإن الحركات المولدة للجبال (الأوروجينية) تخلق فوق الرقع المذكورة انقطاعات عمودية أو **فوالق failles** (**صدوع**) وهي شواهد على نقص في مرونة الركيزة، وطيات ذات قطر انحنائي كبير (**طيات القاع** حسب آرغان Argand) تؤدي لنهوض أو إلى خفس يعتريان مناطق واسعة. فالمناطق الخافسة تصبح **حفر الانهدام** أو **حوضات انكباس subsidence** (شكل ١٧١)، وهي بقاع مختارة لتراكم الرواسب التي يمكن أن تكون، حسب الحالات، بحيرية (وادي الراين و Limagnes خلال الأوليغوسين[2] أو بحرية (حوض باريس أثناء الحقب الثاني

---

(١) E.Haug: les géosynclinaux et les aires continentales (Bull. Soc. géolog. de France. XX VIII, 1900 PP, 617,711)

(٢) أو حفرة الغاب خلال الميوسين (Pontian) في سورية (المعرِّب).

والثالث). ولكن هذا الترسب الانكباسي subsisente(*)، المتميز بسماكته وبرتابة سحنته التي تكون عموماً قليلة العمق، وتغذيها مناطق بارزة تطيف بالمنخفضات، لا تؤدي مطلقاً إلى تحولات استحالية.

وفوق النطاقات القارية البحتة تتولّد صخور من نموذج خاص مثل اللحقيات النهرية، والحطامية أو الجمودية والتشكلات الصحراوية الكثبانية أو المروحية الانفراشية épandage، وكل الصخور التي تنتج عن ظواهر التفكك (بطحاء أو آرين arène، آركوز) أو عن التأكلس dècalcification (تربة حمراء، غضاريات متبقية ذات صوان، رمال وغضاريات نارية، لاتيريت، بوكسيت، طف ... إلخ). وهذه الزمر القارية تتميز بتنوعها الكبير، وبقلة ثخانتها وبلونها الأحمر أحياناً (أوكسيد الحديد).

أما النطاقات الهامشية للرقع القارية، التي يحتلها بحر ضحل يتكئ على القارة وغني بالعضويات وتخترقه تيارات عديدة (عتبة قارية) فإنها ستكون مقر ترسب بحري ضحل وغني بالحيوانات، قليل السماكة، ولكن على غاية من التنوع. فأقل الحركات التي تعتري القشرة (كتذبذب عمودي للقارات، التواء المقعرات الأرضية المؤدية إلى طفح محتواها) تؤدي في هذه النطاقات، إلى اجتياحات بحرية أو على العكس إلى انحسارات، مما ينتج عنه وجود ثغرات طبقية عديدة.

ب ــ مناطق المقعرات الأرضية

إنها عبارة عن أخاديد واسعة ذات قاع متحرك ومرن تترجم عندها الجهود التكتونية، على العكس، بالتواءات حقيقية، ومنذ وقت باكر جداً، انبعثت منها تجعدات واسعة أو **طيات جبارة مركّبة** Gèanticlinaux، تطفو أحياناً على شكل سبحات من الجزر المتطاولة (وتسمى حينئذ **كورديللير** Cordilléres) تتمدد فيما بينها حفرات من مقعرات أرضية بكل معنى الكلمة، وهي مقر ترسب ناشط (شكل ١٧١).

وفوق السفح الخارجي للحفرة، الملتصق بالرقعة القارية، تأتي لتتكدس، على

(★) مثال ذلك منخفض ما بين النهرين الجنوبي، أو ميزوبوتاميا أو سواد العراق.

شكل حدور talus كل أنقاض القارة المنقولة بواسطة الأنهار والتي تقتلعها الأمواج كي تتوزع أخيراً لما وراء النطاق المجاور للقارة بفعل التيارات تحت البحرية. وإلى «فخاخ» الرسوبات هذه، وهي نوع من أحواض فوق قارية èpicontinentaux انكباسية، يعطى اسم **مقدمات الحفر** **avant-fosses**، حيث تتكدس الرسوبات الأرضية المنشأ والفقيرة بالعضويات وذات السحنة البحرية faciés bathyal. وعلى مسافة منها؛ أي في عرض البحر، ليكون قاع الحفرة مفروشاً بتوضعات دقيقة بحرية (بيلاجية) (وحول حاوية على فصيلة الغلوبيجرين أو الشعاعيات) التي تتلاحم مع الحافة المنتصبة للكورديللير بواسطة نطاق من رسوبات عضوية المنشأ أو حطامية، وذلك حسبما تكون هذه الكورديللير مغمورة أو على العكس عائمة. وينتج عن ذلك كون الترسب في مستوى الكورديللير، أحياناً، متميزاً بوجود ثغرات، وصخور بريش (بريش الانهيار)، فضلاً عن لون أحمر ناجم عن التشكلات الحديدية الصخرية التي تتشكل فيها أثناء مراحل العوم، ومن ناحية أخرى لا يكون هذا الترسب سميكاً جداً أبداً، حتى ولا في خلال مراحل الغمر.

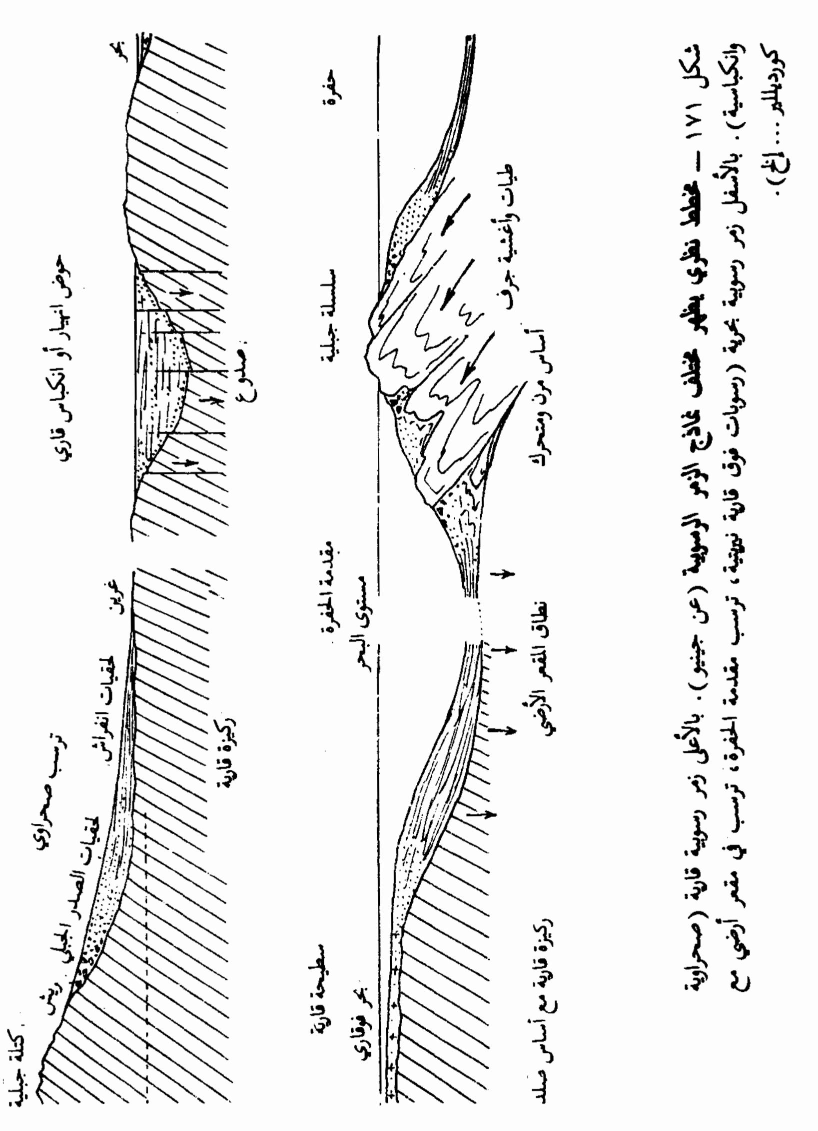
وفيما وراء مقدمة الحفرة وأول كورديللير يأتي مجال **الحفرة الكبرى** الجيوسنكلينالية التي قد يكون قاعها غير الثابت مضرساً بمحدبات جبارة جديدة. وتحل محل البريش الهامشية والترسب النيريتي بسرعة زمر سميكة أرضية الأصل وعميقة بجوار الحدور talus ذات مستحاثات نادرة، ومؤلفة خاصة من وحول رملية نوعاً ما لا يظهر فوقها سوى دروب الديدان ومعديات الأرجل.

من الواضح أنه لا يمكن تفسير رتابة المظهر وثخانة هذه الزمر الجيوسنكلينالية، إلا بانخفاض تدريجي لقاع الحفرة الذي يحتفظ بعمق ثابت يحميها من الردم. ولكن توقف حركة التعمق سيؤدي بسرعة إلى الردم(١).

وهكذا فإن الفترة الختامية من تاريخ مقعر أرضي ما؛ أي الفترة التي تسبق

---

(١) لم يكن هذا الاستقرار، على العموم، إلا طليعة لجهود أوروجينية (مولدة للجبال) عنيفة، تؤدي عند التواء المقعرات الأرضية، إلى تفريغها من محتواها الذي يفيض على الرقع القارية (طغيانات). أما تعمق مفاجئ ينتاب المقعر الأرضي فيؤدي على العكس إلى ظاهرة معاكسة هي (الانحسارات).



شكل ١٧١ — مخطط نظري يظهر مختلف نماذج الزمر الرسوبية (عن جينيو). بالأعلى زمر رسوبية قارية (صحراوية وانكماسية). بالأسفل زمر رسوبية بحرية (رسوبات فوق قارية نيريتية، ترسب مقدمة الحفرة، ترسب في مقعر أرضي مع كوردييلر... الخ).

المرحلة التكتونية المحتدمة، تكون متصفة بترسب ناشط جداً، ترسب ردمي حقيقي، يتخذ حينئذ صفة غير متجانسة واضحة: فتتناوب فيه صخور الشيست، والحث (الغريه) مع عدسات سميكة من الرصيصات، ويكون الجميع خالياً عادة من المستحاثات (باستثناء الآثار العضوية). ويطلق على هذه المركبات complexes

السميكة، المتكررة إلى ما لا نهاية وحيث يكون كل تقسيم مستحيلاً، اسم «الفليش Flysch» في جبال الألب. ويكون للسلاسل القديمة «فليشها» أيضاً، وهكذا يكون ما يسمى «كولم Culm» الكاربونيفيري في جبال الفوج والكتلة المركزية هو عبارة عن فليش السلسلة الهيرسينية التي تصادف زمر مقدمة الحفرة في منطقة الآردين.

ويجب أن نلاحظ أن هذه الزمر الجيوسنكلينالية السميكة، الملتوية بعنف، تتناقض بغرابة مع زميلتها الزمر فوق القارية، الهادئة دائماً، الرقيقة والمتنوعة. ويزداد هذا التباين شدة عندما تتدخل، أثناء تعمق الحفرة المفرط، الاستحالة العامة التي شوهت دائماً الرسوبات التي تتكدس في الحفرة.

وبغية تثبيت الأفكار، نأخذ مثالاً عن ذلك هو السلسلة الألبية، وهي نموذج ممتاز لسلسلة جيوسنكلينالية. وإجمالاً نستطيع تمثيل النطاق فوق القاري بالنسبة لفرنسا بمشارف avant-Pays الكتلة المركزية وجبال الفوج. إنها السلاسل شبه الألبية للنطاق الخارجي، مع تشكلاتها النيريتية وصخور المارنو ــ كلسية الثخينة، والتي تمثل ترسب مقدمة الحفرة. ونصادف الترسب الجيوسنكلينالي في النطاق الداخلي مع تشكلات الكورديللير البريانسونية briançonnaises وحفرها المردومة بالفليش والرسوبات التي أصبحت استحالية في نطاق «الشيست اللماع Lustrés» الذي تم تولده في الحفرة الكبرى الألبية.

٥ ــ التراكيب الطبقية (الستراتيغرافية)

إن القيام بعمل تركيب طبقي يعني دمج المعطيات السابقة لاستعادة تمثيل الجغرافية القديمة للأرض (الباليوجغرافية) في المكان، وفي مختلف العصور، ثم في الزمان.

وكل تركيب، لكي يكون مقبولاً، يجب أن يكون متناسقاً ولا يشتمل على تناقضات: فيجب أن يستطيع أن ينسرد على شكل فيلم. والجيولوجي عندما يقارن

المقاطع الإقليمية يبذل عناية فائقة، بالبدء، في سبيل تحديد التواقتات، ولدراسة النطاقات ذات السحنة الواحدة التي تؤدي إلى رسم نطاقات السحن المتكافئة أو نطاقات **isopiques**، وذلك بالنسبة لكل عصر.

ويمثل هذا الجهد يمكن، بالنسبة لكل فترة من تاريخ الأرض، رسم الحدود الخاصة للقارات والبحار، وبالنسبة للقارات ترسم مع بحيراتها وصحاريها ولاغوناتها وحفرها الانكباسية، وبالنسبة للثانية ترسم مع سواحلها، ونطاقاتها فوق القارية والجيوسنكلينالية [١]. وستضم الرسوبات المتواقتة حسب الوحدات الكبرى للجغرافية القديمة مما يساعد على تكوين فكرة واضحة عن مشهد مجموع الأرض في العصر المقصود.

وبعدئذ يمكن التعرف على الجغرافية القديمة المقارنة في الزمان وذلك بمحاولة ربط تمثيلاتنا المتعاقبة لها ببعضها بصورة نحصل معها على تركيب بدرجة أعلى تعبر، بدون تعثر، عن تطور وجه الأرض خلال الأعمار الجيولوجية. وهذا ما سيقودنا إلى تبيان التنافرات dicordances وأهمية الطغيانات والانحسارات، والثغرات التي سبقتها أو تلتها مستندين إلى قانون هوغ Haug الذي يرى أن كل انحسار في منطقة مقعرية synclinale يكون معوّضاً بطغيان فوق رقعة قارية **والعكس بالعكس**.

هذا وسيكون تحليلنا حقاً عبارة عن «تعاقب منسجم لجغرافيات متآخذة» (م. جينيو)، وذلك على شكل فيلم، أصبح أسلوباً حقيقياً للتحقيق، نستطيع بواسطته عرض الاستمرار بين تمثيلاتنا reconstitutions في الفراغ، ووجود أحواض كبيرة ذات نوع من استمرار والتي تقدم أطرافها لوحدها حركية لا تهدأ. وهكذا نرى أن التاريخ الكلي للترسب ليس أكثر من تعاقب **لدورات رسوبية** بحرية تجري في هذه الأحواض. ويبتدئ كل من هذه الدورات بطغيان بطيء، كي ينتهي بانحسار أكثر سرعة على الغالب [٢].

---

(١) لا يجوز أن ننسى أن حدود affleurements (انكشافات) الرسوبات تكون أحياناً عبارة عن حدود فرضها الحت فلا تسمح، دون تدخل مفهوم السحنة، إعادة تمثيل الجغرافية القديمة بشكل صحيح.

(٢) لهذا اختيرت الانحسارات الرئيسية للفصل بين الحقب الجيولوجية.

فإذا كان الترسب مستمراً في وسط الحوض، فإن التذبذبات البحرية قد تركت، على العكس، أكثر آثارها وضوحاً على السواحل، إذ تظهر هنا الدورات المختلفة منفصلة عن بعضها بثغرات أو بتشكلات قارية. وهكذا تكون كل دورة معينة قابلة **لطابق جيولوجي**، وستكون قيمة طابق ما، كما عرفناه من وجهة النظر الجغرافية القديمة، كبيرة كلما كانت الدورة، التي تقابله، تحتل مجالاً أكثر اتساعاً [٣].

وتتوافق المعطيات الباليئونتولوجية، على العموم، مع هذا التعريف الباليوجغرافي للطابق.

هذا وتحصل التعديلات الجغرافية الكبرى، بالواقع، في مطلع وفي آخر كل دورة، وهي التي تسمح بتجدد العوالم الحيوانية، لأن البحر الطاغي يجلب عادة معه وحيشاً جديداً، وفي خلال الانحسار، تسهل المساحات الأرضية الواسعة هجرات الحيوانات والنباتات. وهكذا أمكن تعريف وتحديد العصر ومعنى هجرات الثدييات أثناء العصر الثالث، وخاصة تاريخ الحصان الذي رسمنا سابقاً تبدلاته (ص ٤١١).

كما أمكن إثبات وجود، خلال الأزمنة الجيولوجية، **أقاليم حيوانية Zoologiques** حقيقية، مماثلة لأقاليمنا الحالية. وقد سبق أن رأينا أن ترسبين من نفس السحنة والعمر يضمان المستحاثات المميزة ذاتها، ولكن قد يصدف أن ترسبين معاصرين تقريباً ومتماثلين من حيث السحنة قد يتميزان بمستحاثات مختلفة. ويعود ذلك إلى تدخل شروط جغرافية عامة سببت تفرد شخصية كل إقليم. وواجب الاختصاصي أن يقرر فيما إذا كان هذان الإقليمان من أصل مناخي (إن الشروط الجغرافية في مصب كل من نهر الإيسكو والرون متماثلة لكن العالمين الحيوانيين فيهما مختلفان) أو فيما إذا كانا ناتجين عن حادثات عزل جغرافي (يؤلف المحيط الأطلسي حالياً حاجزاً يستحيل

---

(٣) من المعروف أن هناك طغيانات، متجاوزة حدود حوض ما، استطاعت أن تجتاح العالم كله تقريباً (أوساط الكريتاسي) وعلى هذه الطغيانات أطلق العالم سويس عبارة الحركات البحرية التوازنية **eustatiques**، ويقصد أن يعني بذلك أن هذه الحركات الجماعية لكل البحار التي اجتاحت القارات التي ظلت مستقرة. ولكن هذا المفهوم عرضة للنقاش، ولا سيما فيما يتعلق باستقرار القارات التي تبدو أنها محرَّضة بحركات شاقولية بطيئة تسمى الحركات المولدة للقارات **m.èpirogèniques**.

اجتيازه بالنسبة لبعض الحيوانات، حاجزاً لم يكن موجوداً في الكريتاسي وفي الثلاثي حيث كانت الوحيشات متشابهة، كما كان برزخ السويس، قبل حفر القنال، يفصل وحيشين مختلفين).

فمثلاً، خلال الكاربونيفير والبرمو ــ ترياس، كانت أمريكا وأفريقيا الجنوبية، وشبه الجزيرة الهندية وأستراليا متحدة لتؤلف قارة واسعة، هي قارة غوندوانا، التي كان نبيتها ووحيشها، المختلفين عن نبيت ووحيش قارة شمال الأطلسي، كانا ناتجين عن مناخ أشد قساوة (وجود فترات جمودية في تلك العصور).

وفي خلال الجوراسي الأعلى والكريتاسي كان هناك أيضاً إقليمان، إقليم شمالي وإقليم رومي (البحر الأبيض المتوسط) حار يتميز كل منهما بنطاق آمونيات مختلف عن الآخر. وفي هذه الفترة أيضاً قامت بعض العضويات الاستعمارية، مثل المدخات، بمباشرة هجرة نحو الجنوب بعد أن تفرَّد نطاق استوائي أكثر حرارة.

ويبدو تاريخ الثدييات مختلفاً تماماً حسبما نواجهه في أمريكا الشمالية أو في أمريكا الجنوبية، لأن هاتين الكتلتين، المتصلتين حالياً ببرزخ ضيق، كانتا منفصلتين خلال القسم الأعظم والحقب الثالث بواسطة حاجز محيطي[1].

إن مفهوم الطابق الجيولوجي، كما فهمناه الآن، هو أكثر قبولاً وإدراكاً بما لا يقاس، مما تصوره الجيولوجيون القدامى المنشغلين خاصة بالمشهد الليتولوجي. إن طابقاً جيولوجياً ما هو عبارة عن مشهد حقيقي، شطر من تاريخ الأرض، شطر متفرد جيداً بصفاته الجغرافية القديمة، والباليئونتولوجية والمناخية[2].

---

(١) ر. هوفستتر. الثدييات المستحاثة لأمريكا الجنوبية والجغرافية الحياتية (المجلة العامة للعلوم. مجلد ٦١. تشرين الثاني وكانون الأول ١٩٥٤ ص٣٤٨).

(٢) إن الطوابق الجيولوجية، التي سنعطي قريباً قائمة عنها، يشار إليها بأسماء الموضع، الغني بمستحاثاتها الخاصة: مثلاً: آبثي إلى Apt. لوتيسي نسبة إلى Lutétia، ديفوني نسبة إلى إمارة ديفون في انكلترا... إلخ. وتميز، جهد الامكان بوحيشاتها، ذات العمق المعتدل. ويكون الأمر ممكناً بالنسبة للطوابق القديمة، ولكنه يصبح أكثر صعوبة بالنسبة للطوابق الحديثة (الثلاثية والرباعية).

قائمة التقسيمات الكبرى للأزمنة الجيولوجية

الأحقاب	المنطومات	الطوابق
الرباعي (الرابعي) (Anthropozoique) آنتروبوزوئـي	هولـوسين (الحجري الحديث)	الـفـلانـدري
	بليئيستوسين(الحجري القديم)	تـيـريـنـي / صـقـيـلـي
الثلاثي (الثالثي) (Cénozoîque)		كالابري (فيللافرانشي)
		آسـتـي
	بليوسين	بليزانسي
		ساحلي (بونتي)
	ميوسين	فـيـنـدوبـوني
		بـورديـغـالـي
	أوليغوسين	آكـيـتـانـي
		شـاتّـي
		سـتـامـبـي
		سـانـوازي
	إيوسين	لـودي
		بـارتـونـي
		لـوتـيـسـي
		إيـبريـسـي
		سـبـارنـاسـي
		ثـانـيـتـي
		مـونـتـي

الثاني (Mésozoïque)	الكريتاسي	كريتاسي أعلى (نيو كريتاسي)	داني
			سينوني
			توروني
			سينوماني
		كريتاسي أسفل (إيو كريتاسي)	آلبي
			آبتي
			بارّيمي (أورغوني)
			هوتريفي
			فالانجيني
	الجوراسي	جوراسي أعلى (مالم)	(بوربيكي)
			بورتلاندي (تيتوني)
			كيميرجي
			سيكواني
			روراسي
			أوكسفوردي
			كالوفي
		جوراسي أوسط (Dogger)	باتوني
			باجوسي
الثاني (ميزوزوني)		جوراسي أسفل (لياس)	آآليني
			توراسي
			شارموتي
			سينيموري
			هيتّانجي
			ريثي
	ترياس		كوبر
			موشلكالك
			حث مبرقش

الأول (الباليزوني) (Paléozoïque)	البرمي	زشتين أو تورانجي
		ساكسوني
		أوتوني
	الكاربونيفير (الفحمي)	فحمي Houiller
		(ستيفاني)
		(وستفالي)
		ديناتي.(كولم)
	ديفوني	فامنّي
		فراسني
		جيفيتي
		إيفيلي
		غوبلنسي
		جيدينّي
		داونتوني
	سيلوري	غوتلندي
		أوردوفيسي
	كامبري	بوتسدامي
		آكادي
		جيورجي
	ما تحت الكامبري infracambrien	
	ما قبل الكامبري (آلغونكي)	
	آركي	
	القشرة البدائية ؟	

الجزء الثالث

تشوهات القشرة الأرضية
مبادئ التكتونيك

لا تشغل المواد المولِّفة للقشرة الأرضية، إلا فيما ندر، الحيِّز الذي كان لها حين تشكلها. وهناك أمر يعتبر كملاحظة جارية هو رؤية رسوبات من أصل بحري لا شك فيه تغطي اليوم مساحات قارية واسعة بحيث تشكل فيها سلاسل جبال برمتها. والطبقات، التي لم تحتفظ أبداً بأفقيتها الأصيلة، تبدو على العكس منتصبة، ملتوية، ومصدعة. إذن لقد قامت حركات الأرض، المتفاوتة في عنفها، بإنهاضها بعد توضعها وفرضت عليها هذه الحادثات المختلفة.

والقيام بدراسة هذه الحادثات، معناه دراسة التكتونيك، وهي عبارة مأخوذة من كلمة يونانية تعني هندسة architecture[1]. فالتكتونيك هو إذن هندسة الليتوسفير، وأصبحت هذه الدراسة ممكنة خاصة بفضل الحت الذي نقَّش وجه الأرض بعمق، وأيضاً بفضل الأشغال التي تمت على يد الإنسان (مناجم، مقالع، خنادق، أنفاق، آبار وأعمال سبر).

ونستخلص من هذه الدراسة أن كل التخلعات dislocations الملحوظة يمكن ردها إلى نموذجين أساسيين هما الالتواءات (الطيات) والفوالق (الصدوع).

---

(١) يستعمل المؤلفون الأمريكان ويفضلون عبارة diastrophisme .

فتؤلف الأولى المناطق الملتوية ؛ أي السلاسل الجبلية ، وتنتج على العموم من فعل القوى الأفقية أو المماسية . أما الثانية فتسبب تشكل المناطق المصدَّعة أو المائدية والتي لم تتدخل فيها سوى القوى الشاقولية (العمودية) .

ولكن يبدو أن القوى المماسية هي السائدة ، وبمجرد توقفها عن التأثير تتدخل بالعمل حينئذ القوى الشاقولية ، لأنه يحدث نوع من تراخ ينتاب الكتل المعدنية التي لا تستدعيها حينذاك سوى الثقالة .

ولم تمر هذه التشوهات الشديدة دون أن ينعكس صداها على البنية الحميمة للصخور التي كثيراً ما تبدو متأثرة بحادثات صغيرة تنم بشكل مصغر عن التخلعات الكبرى (التكتونيك المجهري) أو التي تمنحها طابعاً خاصاً وشاملاً (فصمات diaclases وشيستوية) .

لقد رأينا أن معطيات التكتونيك لعبت دوراً كبيراً في التراكيب الطبقية . وبالعكس ، يجب على التكتونيكي في كل لحظة ، أن يستعين بأنوار الطبقية لتحديد علاقات التأريخ بالنسبة للطبقات المتخلعة . هذا ولا تكون معرفة بنية ما تحت الأرض بأقل أهمية بالنسبة للمهندس الذي يستغل منجماً أو الذي يشيد أبنية فنية كبرى .

وتؤلف دراسة أشكال الإلتواءات والتصدعات fractures وعلاقاتها علم التكتونيك الخاص أو التحليلي . وبدرجة أعلى من ذلك ، يحاول علم التكتونيك العام التعرف على الهندسة الإجمالية وتطور السلاسل الجبلية ، والقوانين الكبرى التي هيمنت على تشكلها ، وأخيراً أصل القوى التي أنتجت هذه الظاهرات الجبارة .

الفصل الأول

التكتونيك التحليلي
أو مفردات التكتونيكيين

١ ــ الالتواءات

وتظهر بجلاء كبير في الصخور الرسوبية لأنها متطبقة وأنها ، بالإجمال ، أكثر ليناً ومرونة من الصخور المتبلورة . فيمكننا أن نلاحظ فيها كل المراحل الانتقالية ، إبتداءً من تقوس الطبقات الخفيف إلى التموجات العريضة ، وحتى إلى التجعيدات . وتعتري هذه الالتواءات دوماً قطاعات عريضة من القشرة الأرضية وتنتج ، ظاهرياً ، عن نفس السبب الذي هو جهد يصيب قشرة الأرض بشكل مماسي . إنها التجربة المألوفة لتجعد بساط تحت تأثير دفع ما .

ويمكن أن يظهر كل من **سعة وتوجه sens** الحركة فوراً بالنسبة لانكشاف صخري معين بعنصرين هما : **اتجاه direction وميل** الطبقات (شكل ١٧٢) .

فالاتجاه هو الزاوية التي يحدثها خط أفقي مرسوم في سطح هذه الطبقة مع خط طول المكان ، وتقاس بواسطة البوصلة .

أما **انحدار pendage** أو **غطس plongement** طبقة ما فهو **ميلها inclinaison**

على المستوى الأفقي، ويقاس بالزاوية التي يحدثها خط الانحدار الأعظم المرسوم في مستوى الطبقة مع المستوى الأفقي.

وتكون هذه الاصطلاحات ثمينة جداً ويشار إليها على الخرائط الجيولوجية برمز خاص يشتمل على خط صغير (اتجاه) مجهز بسهم ميل الطبقة: ويكون طول السهم متناسباً عكسياً مع شدة ميل الطبقة.

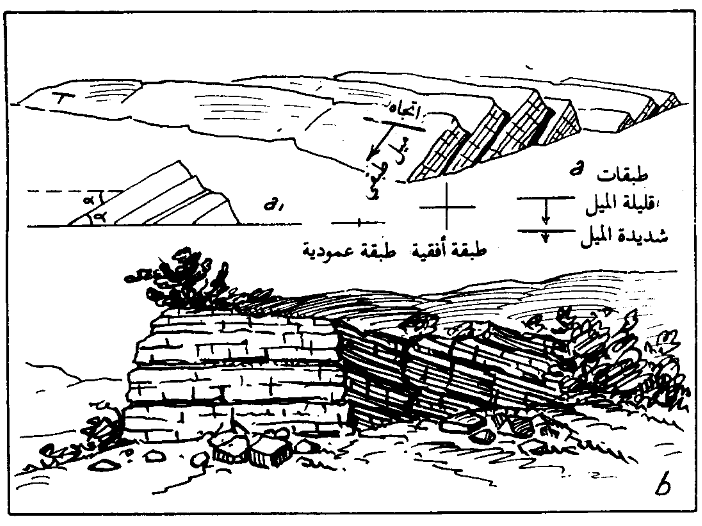
I ـــ حول مرونة الصخور

من العسير أن نتصور شيئاً يعطي انطباعاً عن القساوة والثبات أكثر من جرف صخري. ومع ذلك فإن كل الصخور تكون قابلة للانعطاف بشكل متفاوت، لأنها جميعاً، كما تؤيد ذلك الملاحظة، كانت ملتوية ومنبرمة بفعل القوى المولدة للجبال (الأوروجينية).

وإذا كان من الميسور أن نفهم أن الصخور المرنة بالأساس كالغضاريات أو المارن يمكنها أن تتقبل التعقيدات الكبيرة جداً أحياناً الناجمة عن الالتواءات، فإن الأمر يبدو أكثر صعوبة بالنسبة للصخور الصلدة. مثل صخور الشيست المتبلورة أو الكلسية [1]. ومع ذلك نحن نعرف صخوراً مثل الايتاكولوميت itacolumite وهو نوع من حث (غريه sandstone) حاوٍ على الميكا، يكثر في البرازيل، والذي، إذا قطعناه على شكل قضبان متطاولة، يستطيع أن يقدم في الشروط العادية للحرارة، قابلية كبيرة جداً للانعطاف. وتنجم هذه الخاصية عن توجه عناصر الصخر الذي تجنح حباته للتحرك فيما بينها. كما نعرف أيضاً أن بعض الصخور المستعملة كساكفات linteaux فوق الأبواب أو حجارة القبور، تستطيع تحت تأثير وزنها فقط وبعد بضعة أعوام أو

(١) لقد ظنَّ أوائل الباحثين الذين شاهدوا التواءات انتابت طبقات سميكة كلسية التي تبدو أحياناً على سفوح الوديان أن الالتواء قد حصل في وقت باكر جداً بعد التوضع، عندما كان الراسب لا يزال مرناً. بيد أن الأمر على خلاف ذلك لأننا نعرف، بالنسبة لجبال الألب خاصة، أن هذه الصخور تصادف بالفعل مع كل صفاتها، بين حصباء المشبكات ذات العمر السابق كثيراً للالتواء.

بضعة قرون، أن تكتسب تشوهاً ملحوظاً. لهذا لا يمكن استعمال الغنايس الغني بالميكا في البناء إلّا باتخاذ بعض الاحتياطات. ولكن بالنسبة لمعظم الصخور القاسية الأخرى لم تستطع التشوهات المرنة أن تتم إلّا في شروط خاصة جداً من الضغط والحرارة.



شكل ١٧٢ ـــ **اتجاه وانحدار (ميل) الطبقات**. a، الاتجاه والانحدار (الميل) لزمرة من الطبقات منظورة من الأعلى (a) وعلى شكل مقطع (a₁). وتعطى القيمة الزاويّة للانحدار (الميل) التي يمكن أن تقاس حسب الزاوية a. b، شكل يقصد منه البرهنة على أن الطبقات الأفقية ظاهرياً يمكن أن تكون مائلة بالواقع.

وتظهر التجربة أنه إذا تعرضت أسطوانة من صخر قاسي إلى ضغط بفعل مكبس Piston ولنفرض أنها أسطوانة من الصخر الكلسي، فإن تناقص طول الاسطوانة (الذي يعوضه انتفاخ جانبي مكافئ) لا يحدث إلا ابتداءً من قيمة ضغط تسمى **عتبة المرونة**.

ولكن عندما يتزايد الضغط، وبسرعة كبيرة جداً، نصل إلى قيمة أخرى، هي عتبة الانقطاع، تتحطم عندها العيِّنة فجأة. إذن بين هاتين القيمتين يتصرف الصخر كجسم مرن، وهذه الخاصية ستكون أكثر وضوحاً كلما كانت عتبة المرونة أكثر انخفاضاً. وهكذا يملك الغضار عتبة مرونة منخفضة جداً، لأنه يستطيع أن يجري عادة في شروط عادية، كما أن لصخر كلسي دوماً عتبة مرونة مرتفعة. وإذا عمدنا الآن

إلى وضع العيِّنة المعرضة للانضغاط في مكان يسود فيه ضغط شديد عام (كغمر الاسطوانة الصخرية مثلاً في سائل منضغط هو نفسه)، نكون بذلك قد رفعنا عتبة الانقطاع. وتتحقق في الطبيعة أمثال هذه الشرائط بالنسبة للطبقات الواقعة على عمق معين والتي تتحمل كل الثقل، الكبير أحياناً (والذي يمثل هنا توتر البيئة) الناتج عن الطبقات العليا. ولا يتعرض ساف banc من صخر قاس، على عمق ضئيل، لأي تشوه إلّا في حالة خضوعه لانضغاطات جانبية شديدة جداً، وإذا زادت هذه الضغوط فإنه سيتحطم دون أن يلتوي. ولكن الساف الصخري نفسه، وعلى عمق كبير، يستطيع أن يتصرف كجسم مرن إذا تعرض لنفس الضغوط.

ومن جهة أخرى فهناك بعض الصخور التي لا تستطيع أن تتشوّه في الهواء الحر ولكنها يمكن أن تتشوه إذا كانت تحت ضغوط شديدة وخاضعة تجريبياً إلى درجات حرارة مرتفعة بما فيه الكفاية. وهكذا، ومن وجهة النظر هذه، يعتبر الجبس والملح الصخري قابلين للتشوه بسهولة كما سنرى ذلك. ولكن الكوارتز (المرو) لوحده يبدو كمادة غير قابلة للتشوه عملياً ولا يستجيب للضغوط إلّا إذا تحطم.

غير أننا نعرف الآن أن ضغوطاً كهذه، مصحوبة بحرارات مرتفعة (٢٠٠ إلى ٣٠٠°) تسود في أعماق الليتوسفير (خاصة في حفر الانكباس وفي المقعرات الأرضية) واننا إذا أردنا أن نتذكر أن قوى الالتواء قد مارست تأثيرها على هذه الصخور بشكل مستمر وخلال دهور ربما تقدر بملايين السنين، لا نجد داعياً للدهشة إذا وجدنا أن بعض الصخور، بمثل هذه القساوة، قد التوت كطبقات بسيطة من الشمع. ولا حاجة لكي نقتنع بذلك إلا أن ننظر إلى الالتواءات المجهرية Ptygmatiques (شكل ١١٩، VII و VIII) التي تحدث في نطاقات المِغمتة migmatisation[1].

---

(١) يبدو أن المادة تكون، في نطاقات التشوهات الشديدة، في حالة خاصة (الحالة الرابعة حسب Van iterson). وتسمى هذه النطاقات عند المؤلفين الانكليز نطاقات الفوضى، حيث تكون مختلفة عن الحالة الصلبة وعن الحالة السائلة، وتملك لزوجة كبيرة وقدرة انتشارية diffusif كبيرة (ن. كلانجو. المجلة العلمية، ١ — ١٥ كانون الأول ١٩٤٧).

II ـــ الأشكال الأولية في الالتواء

يكون الالتواء إما على شكل محدب (آنتيكلينال) أو على شكل مقعر (سنكلينال) (شكل ١٧٣).

فالأنتيكلينال (مرادفات: قبة، سرج، ظهر حمار) هو التواء تنحدر الطبقات فيه باتجاه معاكس ابتداءً من القمة، إلى جانبي المستوى المحوري (المستوى المنصف للزاوية المولّفة من الخاصرتين).

أما **السنكلينال** (مرادفات: معلف، قاع المركب) فالطبقات تغطس، على العكس، من على جانبي القمة باتجاه القاع. وتستعمل أحياناً عبارة طية pli للإشارة إلى تشارك محدب مع مقعر (طية على شكل حرف S).

والقسم المنعطف من الطية يدعى **المفصلة** charniére كما تطلق عبارة **الخاصرتين** **Flancs** على الجانبين، المستويين تقريباً، واللذين يتحدان في مستوى المفصلة.

إن **محور** الطية هو الخط الذي يشير إلى اتجاه المفصلة، وبعبارة أصح، هو تقاطع المستوى المحوري مع مستوى أفقي، يتخذ كأساس. ويعطي هذا المحور فوراً وجهة orientation الطية، ولا تكون الطيات ذاتها في الخرائط التكتونية ممثلة بأكثر من محاور المحدبات (شكل ٣١٩).

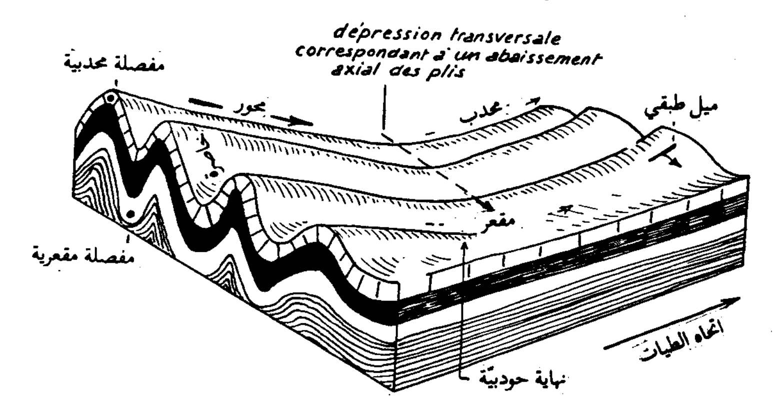
ويشار إلى الطيات بقطاعات متعامدة مع المستوى المحوري وتسمى المقاطع العرضانية. ومثل هذه المقاطع يسمح بمعرفة مختلف نماذج الطيات، التي تكون على علاقة مع شدة الدفع Poussée (شكل ١٧٤)[1]. ويوجد بالواقع طيات **مستقيمة**

---

(١) لنتدارك بقولنا أن طية ما لا تبدو دائماً على شكل تضريس (محدب) أو منخفض (مقعر). وكثيراً ما نجد العكس (انقلاب التضريس). وهكذا إذا كان جبل Salève عبارة عن محدب جيد التكوين على شكل ظهر حمار، فإن منطقة براي Bray، على العكس، هي محدب حفرة الحت في ظهره على شكل أخدود (كومب آنتيكلينالي) وكثير من جبال سلاسل مقدمة الألب هي عبارة عن مقعرات معلقة Syn. perchés.

متناظرة (يكون للخاصرتين نفس الميل pendage) وطيات غير متناظرة أو **مائلة déjeté** (لا يكون للخاصرتين نفس الميل) .

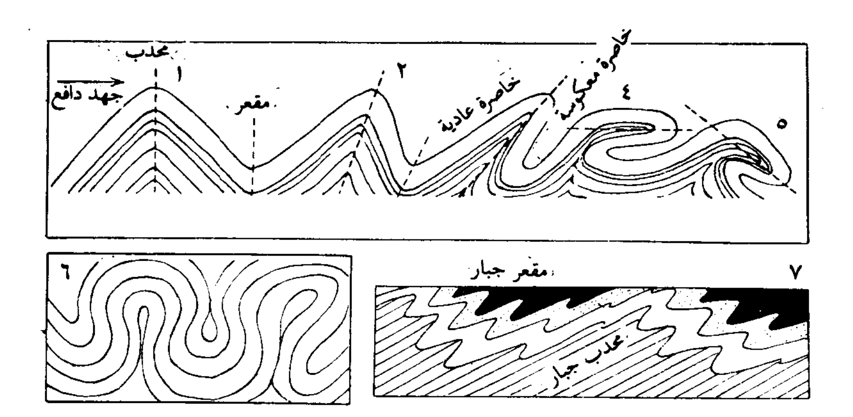
ففي طية مائلة كثيراً بفعل دفع قوي ، قد تصبح إحدى الخاصرتين منقلبة ، وتسمى الطية حينئذ طية **منقلبة déversé** . وإذا كانت الخاصرتان أفقيتين نوعاً ما ، فإن الطية تسمى عندئذ طية نائمة **couché** . فالطيات النائمة والطيات المنقلبة تحوي حينئذ على خاصرة عادية (يكون وضع الطبقات فيهما عادياً من الناحية الطبقية) وخاصرة منقلبة أو مقلوبة inverse . وفي المناطق ذات التكتونيك العنيف ، يكوف انقلاب déversement الطيات بالغاً درجة نحصل فيها على طيات **معكوسة retournés** تماماً مما يعطي حينئذ مقعرات كاذبة ومحدبات كاذبة .



شكل ١٧٣ ــ **الأشكال الأولية في الالتواء**.

وهكذا نفهم أنه ، في الحالات الأخيرة ، يكون لتدخل الطبقية والباليئونتولوجيا القول الفصل في حسم المشكلة .

وأخيراً توجد طيات على شكل **مروحة en éventail** ترتصف الطبقات فيها على شكل باقة سنابل gerbes ، وقد يؤدي الافراط في الدفع في نماذج الطيات المذكورة آنفاً إلى تكسرات هامة (فوالق مقلوبة Faille inverses) موجهة حسب محور المفصّلات الآنتكلينالية وتسمى حينئذ **طيات مصدوعة Faillés** (شكل ١٧٥ ، I) ولكن سبق أن افترضنا أن سماكة الطبقات كانت واحدة بالنسبة لكلتا الخاصرتين ، غير أنه **قد**

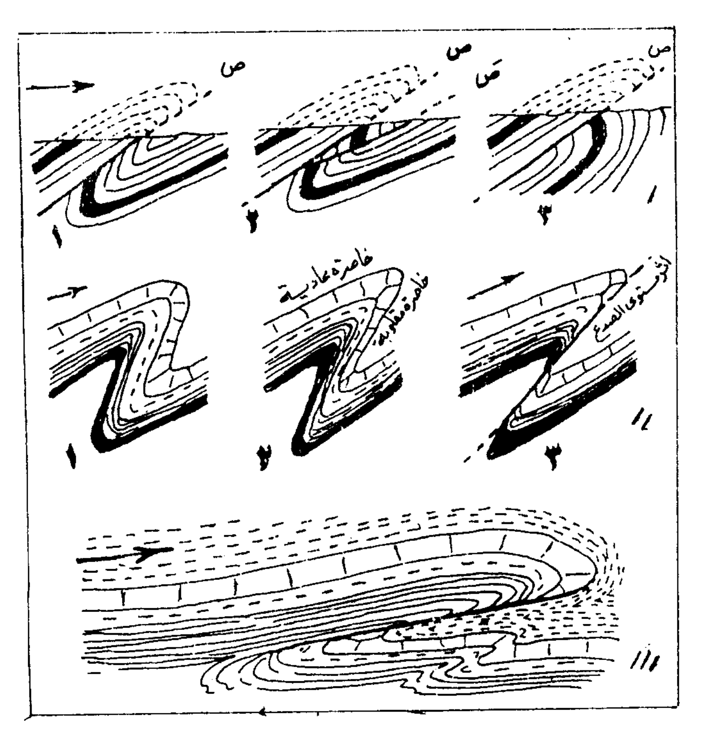


شكل ١٧٤ ــ **نماذج الطيات**. ١، طية مستقيمة. ٢، طية مائلة. ٣، طية منقلبة. ٤، طية نائمة. ٥، طية معكوسة (أو مقلوبة). ٦، طية مروحية. الخط المنقط يشير إلى المستوى المحوري. ٧، تجمع طيات تعطي طية محدبة مركبة (آنتكلينوزيوم) وطية مقعرة مزكبة (سنكلينوريوم).

يصدف أن تصبح الخاصرة المقلوبة inverse، بتأثير دفع غير متعادل، وخاصة لدى الطيات المنقلبة déversé أو النائمة، تصبح رقيقة ومسحوبة ètiré. وعندما يحدث انقطاع على مستواها بفعل تزايد الدفع، تتحول الطية إلى **طية صدعية** (طية فالقية أو صدعية Pli-faille (شكل ١٧٥، II). وحينئذ تتلاشى وتختفي الخاصرة المقلوبة تماماً وتأتي الخاصرة العادية للطية كي تمتطي المقعر الذي يتلوها.

إن الإفراط في هذه البنية قد يؤدي إلى انتقالات هامة ويقال إن إحدى الزمر بحالة تغطية بالنسبة للأخرى. وقد تبلغ سعة الانتقال بضعة كيلومترات وأحياناً أكثر من ١٠٠ كم. إن حادثات كهذه تصبح حينئذ **أغشية الجرف أو الانجراف** أو **تغطية** (شكل ١٧٥، III) وتكون معهودة في جبال الألب حيث لوحظت هناك لأول مرة من قبل العالم إيشر دو لالنت Escher de la Linth.

وهناك نماذج أخرى للكسور، غير كسور الطيات الصدعية، تستطيع أن تتولد خلال الالتواءات وهي **صدوع التراكب** chevauchement أو الانفكاكات décrochements (شكل ١٧٦). وتتشكل **فوالق التراكب** في زمرة من طبقات مائلة بانتظام ودون أثر للالتواء، ولكن استفحالها قد يؤدي أحياناً لتشكل انجرافات



شكل ١٧٥ ــ **الطيات المصدوعة (الفالقية) والطيات الصدعية Plis-failles** I ، ثلاثة نماذج لمحدبات مصدوعة (failles inverses صدوع عكسية). ١ ، على طول الخاصرة المقلوبة. ٢ ، مع إحداث مزقة lambeau مدفوعة ١ . ٣ ، حسب محور المفصلة. II ، طية صدعية مع خاصرة مقلوبة مسحوبة وانتفاخ المفصلات. III ، طية صدعية مطرودة مؤدية إلى طية ــ نائمة وغطاء جرف. الأسهم تشير إلى وجهة الدفع.

حقيقية [1] تستطيع أن تبلغ بضعة كيلومترات، وتدعى حينئذ **حراشف écailles**، وذلك عندما تتخذ الطبقات شكلاً عدسياً.

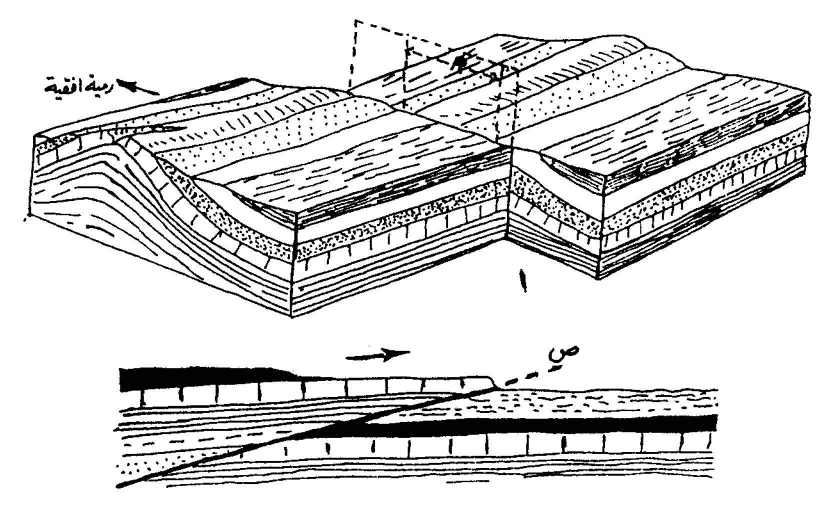
أما **الانفكاكات** فهي انقطاعات عرضانية للطيات ناجمة عن نقص مرونة الطبقات، فتحدث رمية rejet جانبية في طبقات الطية التي لا تكون خاصرتاها بحالة استمرار على طرفي الحادث أي الصدع.

ولنضف إلى ذلك أن بنى structures جديدة قد وصفت منذ قريب تحت اسم

---

(١) وعندئذ تدعى أغشية من الجنس الثاني حسب تصنيف ترمييه P.Termier ، أما الأغشية من النوع الأول فهي التي تنجم عن استفحال طية ــ صدعية.

«المقعرات اللامرئية» inapparents (ل. موريه L. Moret 1951) في الكتل المتبلورة الخارجية في جبال الألب الغربية. إنها عبارة عن مقعرات في طبقات الغطاء العائد للحقب الثاني (ترياس ــ لياس)، ضيقة، ومسحوبة laminés جداً تستطيع حافتاها المتبلورتان أن تتلاقيا بتأثير الدفع. وهذه الحادثات «المغلقة» تماماً وغير المرئية عند السطح أمكن، مع ذلك، التعرّف عليها بالأعماق بفضل الوديان العرضانية، عندما تكون هذه موجودة، وعلى عمق كاف، وخاصة بفضل الأعمال تحت الأرضية (مثل الأنفاق والتحويلات المائية... إلخ)[1].



شكل ١٧٦ ــ **الانفكاك وصدع التراكب**. I، انفكاك: R = قيمة الرمية rejet الأفقية. II، صدع التراكب الذي أنتج تغطية هامة.

III ــ تجمع الطيات

نحن نعرف بضعة أمثلة عن طيات معزولة (Salève بالسافوا العليا، Pays de Bray شمال شرق باريس)، ولكن في أغلب الأحيان تتجمع الطيات في حزمات كي تؤلف سلاسل الجبال.

---

(١) ل. موريه. أعمال المخبر الجيولوجي في غرينوبل، مجلد XXIX. ص٩٧.

ويمكن أن تكون الطيات المتجمعة مستقيمة ومنتظمة، وكلها متساوية تقريباً، كما هو الحال في جبال الجورا. وأحياناً تكون المحدبات واسعة ومنفصلة عن بعضها بمقعرات ضيقة، وهذا الطراز على شكل **ألواح الجليد العائمة banquises** (طراز déjectif حسب Stille) (شكل ١٧٧، I) متحقق في البروفانس. وفي المناطق الأخرى يحدث العكس، إذ نجد تتابعاً من مقعرات عريضة جداً تبدو منفصلة بمحدبات تنبثق فجأة وذات طبقات منتصبة (طراز éjectif يكثر في افريقيا الشمالية وفي العراق الشمالية الشرقية) (شكل ١٧٧، II).

وإذا كانت كل الطيات منقلبة déversé في نفس الاتجاه، في تعاقب منتظم من طيات، نكون عندها أمام نظام **متساوي الميل isoclinal** (شكل ١٧٧، III). وبما أن كل الطبقات تحوي على الميل نفسه وأن المفصّلات تكون أحياناً مختفية بفعل الحت، لذا يكون غالباً من العسير تمييز وفصل المحدبات عن المقعرات. وهنا أيضاً تكون الكلمة الحاسمة للباليئونتولوجيا الطبقية [1].

وفي زمرة كهذه من الطيات المنقلبة قد تتعرض الخواصر المعكوسة للطيات إلى الترقيق وقد يخال المرء أنه بمعرض تعاقب طيات صدعية، إذن خاصرات عادية تكاد تكون كاملة: ذاك هو النظام **المتراكب** أو على شكل حراشف (شكل ١٧٧، IV).

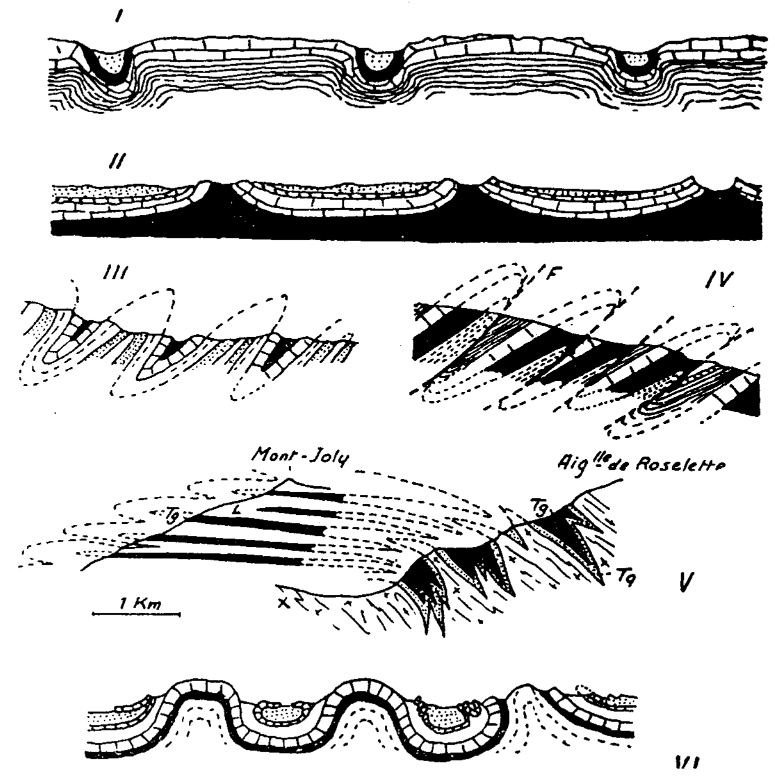
هذا وتتشكل بعض السلاسل من **طيات نائمة متكدّسة empilés** ومثلها المشهور هو مثال مون جولي Mont-Joly قرب سان جرفيه Saint-Gervais الذي درسه مارسيل برتران و آ. ريتر (شكل ١٧٧، V).

وعندما تتحول الطيات المتكدسة إلى طيات صدعية وتأخذ أبعاداً كبيرة، تسمى البنية عندئذ **أغشية جرف متنضدة nappes de charriage superposées**، وهذا

---

(١) قد تؤدي مرونة الصخور الكلسية المشتركة مع كتل مارنية لمجموع ملتوٍ بانتظام أحياناً إلى تشوهات غريبة بفعل الانزلاق. وقد لوحظت تشوهات كهذه في إيران خاصة، حيث درسها العالمان هاريسون ــ وفالكون تحت اسم «Collapse Structures» (مجلة **جيوجوليكال ماغازين** ٩٣٤ ص٥٢٩) (شكل ١٧٧، VI). وتؤلف انتقالاً بين التشوهات التكتونية والانزلاقات السطحية. انظر كتاب «بنية ومورفولوجية الشرق الأدنى، بقلم الأب إتيان دو فوماس. ترجمة الدكتور عبد الرحمن حميدة، ص ٧٣٥ و ٧٤٩.

النظام الذي تعـرّف عليه العالم لوجون في جبال الألب يبدو متحققاً في القسم الأعظم من السلسلة المذكورة . وقد أصبح هذا النظام فيها تقليدياً لدرجة تطلق معها عبارة طراز ألبي للاشارة إليه ، وسنعود إليه مطولاً بعد قليل .

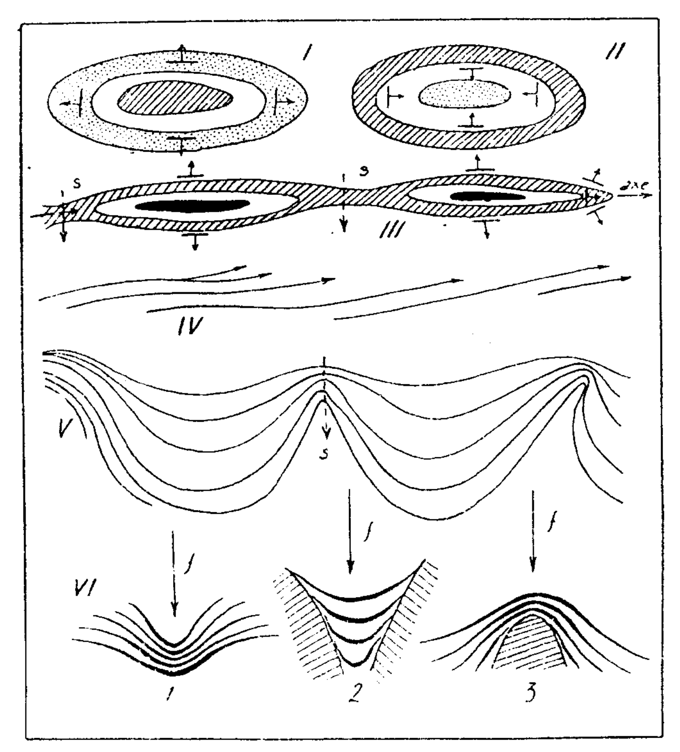


شكل ١٧٧ ـــ **تجمع الطيـات** . I ، طراز déjectif . II ، طراز éjèctif . III ، طراز متساوي الميـل . IV ، طراز حرشفي أو تساندي (متراكب) . V ، طيات نائمة متكدسة لجبل جولي (السافوا العليا) . X ، متبلور . Tq ، كوارتزيت . Tg ، جبس وكارنيول Cargneules ، ترياسي . L لياس . «Collapse structure» أو الحسور décoiffements (لوجون) .

وأخيراً قد تتخذ تجمعات الطيات ، بالإجمال ، سيماء مقببة لمحدب ، أو سيماء منخفضة لمقعر ، فتستعمل حينئذ ، حسب رأي العالم Dana ، عبارتا **آنتكلينوريوم** أو **محدب مركّب** و **سنكلينوريوم** أو **مقعر مركّب** كناية عن هذا الوضع (شكل ١٧٤ ، ٧) .

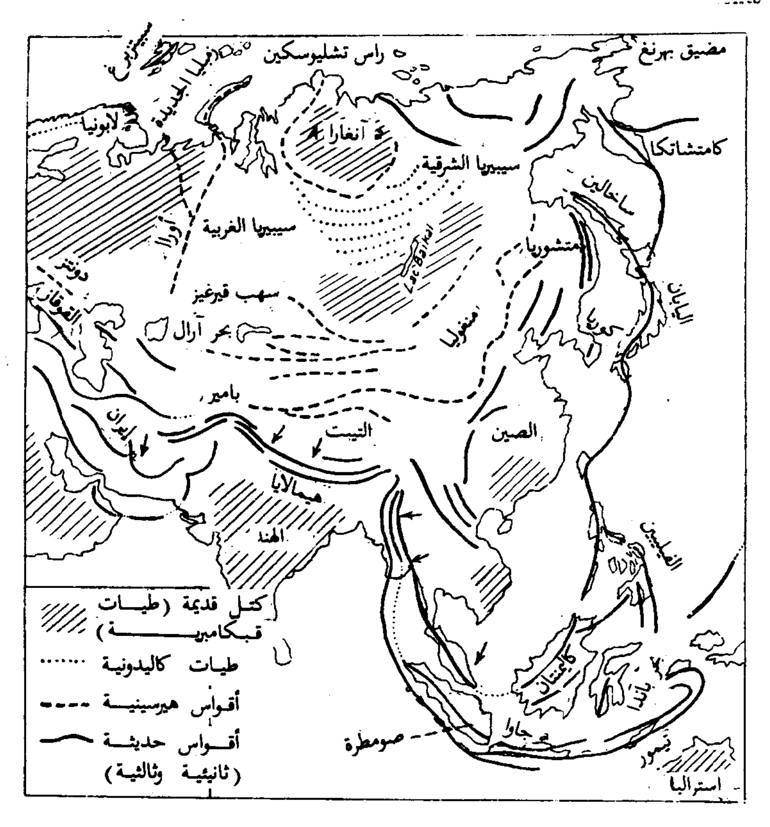
أما في الاتجاه ، فإن الطيات تحتوي أحياناً على تعديلات هامة (شكل ١٧٨) .

فأولاً : لا تحتل مفصلة طية ما دائماً نفس الارتفاع ، فقد تكون أفقية ، ولكنها قد تخضع لانعطافات أو **حوادث تغريق** ennoyages وحوادث **نهوض زائد** أو **شهوق** Surélévations . وقد تتم هذه التعديلات بشكل متسارع مما يعطي طيات قصيرة (**محدبات قصيرة** brachyanticlinaux و **مقعرات قصيرة** brachysynclinaux ، **قباب أو حوضات**) أو طيات طويلة . ولكن الطية تنتهي دائماً بمنطقة يكون الغطس فيها متحققاً من كل الاتجاهات (**غطس ظهر الحوت** أو **غطس حوْدبي** Plongement Périclinal) .



شكل ١٧٨ ــ نماذج الطيات وتجمعات الطيات (ممثلة بمسار المحاورة المحدبة) . I ، محدب قصير (على مستوٍ) . II ، مقعر قصير . III ، محدبان منفصلان بمنطقة تغريق (انخفاض محوري) ، وعلى اليمين نهاية حوْدبيّة Péricdinale . IV ، مواقف الطيات relais . V ، حزمات الطيات (الانفراجية) مع مناطق النكوص rebroussement (S) . VI ، أصل أقواس الانفراجية حسب منحى البنية السفلى . ١ ، قوس تقدم مع انفراجات حرة . ٢ ، قوس تقدم مع انفراجات مقسورة بفعل حاجز هامشي . ٣ ، قوس احتباس مع انفراجات حرة (المخطط هو حاجز وترس الانفراج) (f ــ اتجاه القوة) .

هذا وتكون الطيات دائماً تقريباً متجمعة في حزمات مؤلفة من عناصر متوازية قد تتفرع وقد تكون متواصلة مع طيات أخرى متولدة جانبياً en coulisse . وأحياناً

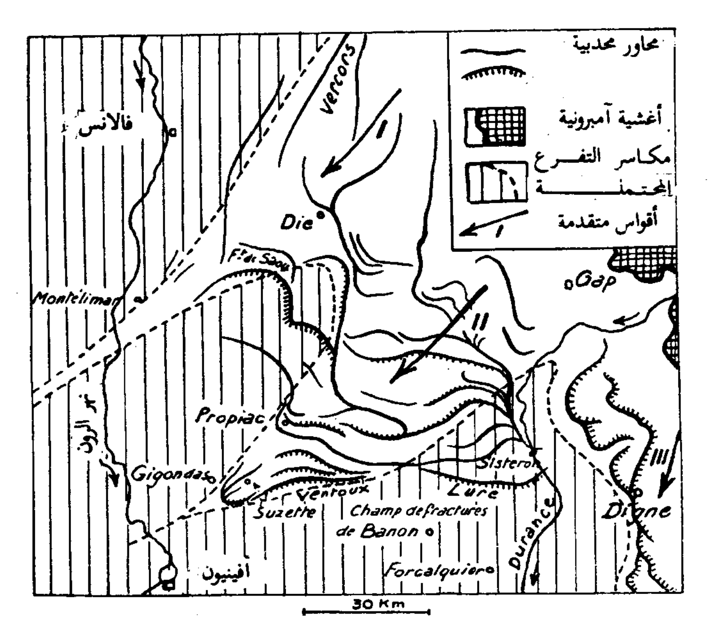


شكل ١٧٩ ــ الانفراجات الرئيسية القديمة والحديثة في السلاسل الآسيوية.

كل الأقواس الواقعة في أقصى الشرق تكون متواكبة ببراكين.

تنفرج الطيات كي تعطى ما سماه العالم سويس Suess **انفراج Virgation** : بحيث أن كل طية ترسم فيه قوس دائرة تكون نهايتاه أكثر تقارباً من الأجزاء المتوسطة. هذا وقد يصدف أن تكون بضعة انفراجات متعاقبة منفصلة عن بعضها البعض بواسطة مناطق **نكوص rebroussement** (**Schaarung** عند العلماء الألمان) (شكل ١٧٨ ، ٧). وترسم الطيات عندئذ قلادات واسعة بين مناطق النكوص هذه، وتكون هذه البنية الطابع المميزة لجبال آسيا الجنوبية (شكل ١٧٩). ويشترك القوس الألبي والقوس

الكارباتي، المنفصلين بواسطة الترس البوهيمي، في هذه البنية أيضاً. ففي المناطق الألبية يمكن ملاحظة انفراجات صغيرة في السلاسل شبه الألبية **Subalpines**، الشمالية والجنوبية (شكل ١٨٠).

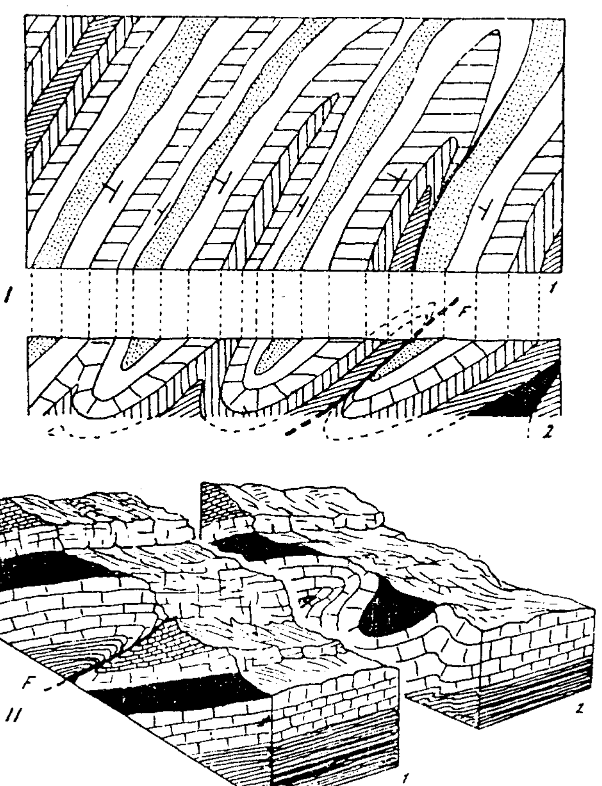


شكل ١٨٠ ــ **انفراجات السلاسل شبه الألبية subalpines** أو ماتحت الألبية الجنوبية. محاولة للتفسير بواسطة المكاسر العميقة (عن ج. جونغ). I، قوس تقدم لمنطقة Valentinois. II، قوس تقدم لمنطقة Diois-Baronnies. III، قوس تقدم لمنطقة Digne-Castellane (محدود من الشرق بواسطة كتلة جبال مور ــ استيريل المتبلورة).

ويحتمل أن هذه البنية على علاقة مع وجود **مكاسر môles** حقيقية في الأعماق، مكاسر مؤلفة من صخور قاسية تهدرت أمامها الموجات الصلبة: وقد تشكلت بين هذه المكاسر أقواس التقدم في حين أن أقواس الاحتباس **retenue** حصلت في منطقة اقتحام الحاجز.

هذا ويمكن تفسير الانفراجات الصغيرة في السلاسل شبه الألبية الشمالية، بصورة أكثر بساطة، وذلك بوجود منخفضات عرضانية قديمة لعبت دور حجر عثرة بالنسبة لتقدم حركة الالتواء الرئيسية. وبين المنخفضات ترسم الطيات جَنْبهات

avancées عريضة، ولكن على مستوى المنخفضات، تتقارب وتتهشم فوق بعضها البعض (م. لوجون).



شكل ١٨١ ــ **ترجمة أو تمثيل الطيات على خارطة.** I، خارطة جيولوجية لمنطقة ملتوية (١) ومقطع عنها (٢). II، الانتقال من طية صدعية (١) إلى محدب منقلب (٢).

أما في مناطق الطيات النائمة أو أغشية الجرف المتكدسة، كما في جبال الألب، فتكون الأغشية الخارجية النائية مغطاة بالتتالي من قبل الأغشية الداخلية التي تأتي لتحل محلها وتعطي ما يصح تسميته **الإكليلية Festons**.

IV ــ تمثيل طيات على خارطة

لو كانت كل الطبقات باقية في محلها دون أن يمسها الحت، لكانت الطيات

ممثلة بحدبات وتجاويف تعتري الطبقة العليا أو السطح البنيوي S.structurale، بحيث لا يمكن أن يشار إليها بأكثر من خطوط تسوية ومحاور. ولكن هذه الحالة النظرية لم تتحقق مطلقاً وفي أغلب الأحيان استطاع الحت أن يعتري قلب الطيات، بحيث أن السطح البنيوي لا يطابق أبداً السطح الطبغرافي. وتمثل الخرائط الجيولوجية إذن تقاطع السطح الطبغرافي مع السطح البنيوي لكل الطبقات التي تتعرض للانكشاف affleurement. وحينئذ تبدو الخرائط الجيولوجية، لمنطقة ما، على شكل تتابع من شرطان من طبقات مختلفة، البعض منها هي الأقدم (شرطان آنتكلينالية) والبعض الآخر هي الأحدث (شرطان سنكلينالية). وهذا التفريق جوهري كي نستطيع فهم وشرح خارطة جيولوجية لمنطقة ملتوية (شكل ١٨١).

وفي حالة طية صدعية، يأتي شريط الأراضي القديمة (أو الانتكلينالي) مباشرة كي يمس شريطاً حديثاً (أو سنكلينالياً)، ويكون التماس عموماً مرسوماً على الخارطة بخط غامق يمثل تقاطع مستوى الصدع (الفالق) مع السطح الطبغرافي. ويتميز هذا الخط، الموازي لمحور الطيات، بذلك عن التصدعات الأخرى (فوالق) وعن الانفكاكات التي تشغل، على العكس، موضعاً عرضانياً. وبمتابعة طية على الخارطة لا نتأخر عادة عن رؤيتها تعود للوضع العادي وتسترد مفصلتها. ومنحى انفكاك ما على الخارطة الجيولوجية يشار إليه في الشكل ١٨٢.

٧ ـــ تأثير طبيعة الصخور على هيئة الطيات

الصخور العصيّة والصخور الطيّعة: في الاصطلاحات الأمريكية، تستعمل عبارة **عصيّة** **Compétente** للكناية عن صخر يتصرف خلال حادثات الالتواءات، كمادة صلدة، قصِفة لا تمثل السلوك المرن، مع أنها مرنة، لأنها قد تلتوي. وتطلق عبارة صخر **طيّع** **incompètente** عندئذ على صخر يملك كل الخصائص المعاكسة؛ أي الذي يكون بالتالي ليّناً، مرناً، وحتى لزجاً ويستطيع أن يحصل على الشيستوية بسهولة. وهكذا تكون الصخور الكلسية عادة عصية، في حين

أن صخور المارن والغضاريات طيّعة. ولكن هذه الخصائص يمكن أن تكتسب بالنسبة لنفس الصخر حسب الشروط الميكانيكية للالتواء، ولا سيما بالنسبة للعمق.

وعلى العموم، يتحقق شرط المطواعية، بالنسبة لغالبية الصخور، تحت عمق يتراوح بين ١٠ حتى ١٥ كم، وحتى بالنسبة للصخور الكلسية (انظر بحث مرونة الصخور آنفاً)، في حين أن الغالبية العظمى للصخور تظل عند السطح عصية، وهذا ما تترجم عنه هيئة الطيات.

والواقع هو أن الصخور العصية قرب السطح والتي يكون لطبقاتها نفس السماكة على مسافة كبيرة، تتأثر بالجهود التكتونية فتعطي طيات منتظمة، متوازية. وتحتفظ الطبقات بسمكها، ونظرياً، لا يكون لسطوح السافات bancs الشكل ذاته لأن الإنحناءات تخف باتجاه الأعلى وباتجاه الأسفل كي تتلاءم بالانزلاق (شكل ١٨٢، **مكرر a**).

وفي الأعماق، وتحت ثقل عظيم، يتحقق شرط المطواعية، إذ تتلاءم الصخور بالجريان المرن ولا تكون الطيات منتظمة، لأنها تحصل ظواهر مط étirements على طول الخواصر وانتفاخات تعويضية في مستوى المفصّلات المحورية: وهذا ما يسميه العلماء الآنكلو ــ سكسون **rockflowage** (جريان الصخر). ومع أن السافات لا يكون لها السماكة نفسها، فإن لسطوحها أشكالاً متماثلة (شكل ١٨٢ **مكرر b**).

وعندما لا تكون شروط المطواعية متحققة بالأعماق، بآن واحد، بالنسبة لكل الصخور (في زمرة غير متجانسة)، وإن البعض تظل عصية، نلاحظ وجود ردود أفعال متباينة تجاه الجهود الأوروجينية على الطبقات (شكل ١٨٢، **مكرر c**).

وعندما تحصل الظاهرة على مقياس كبير، نكون أمام التواء غير منسجم سنتكلم عنه فيما بعد.

التبدلات الأصلية لسماكة الطبقات: وتنعكس هذه التبدلات على سعة الطيات. فتحت نفس الجهد تتصرف مجموعات الطبقات من نفس الطبيعة الليتولوجية، الكلسية مثلاً، تتصرف وتعطي طيات صغيرة المقياس، إذا كانت السافات

ظاهرة حركات المد والجزر والتبدلات الممكنة في سرعة دوران الأرض، غير أن الاتجاه الحالي بالانحياز، بالأحرى، نحو نظرية الذبذبات البطيئة للأرض[1].

وقد سمحت الأبحاث التي قام بها العالم هوغ Haug عن الطغيانات والانحسارات إلى تقديم النتائج الآتية:

١ً ـ لا تحدث الطغيانات أبداً بشكل متناوب في كل من نصفي الكرة الأرضية، بل تحدث بآن واحد على طرفي خط الاستواء (مما يقوِّض الفرضية القائلة بأن تنقلات خطوط السواحل هي نتيجة تشكل الجموديات القارية التي تحدث بصورة متناوبة في كل من نصفي الكرة).

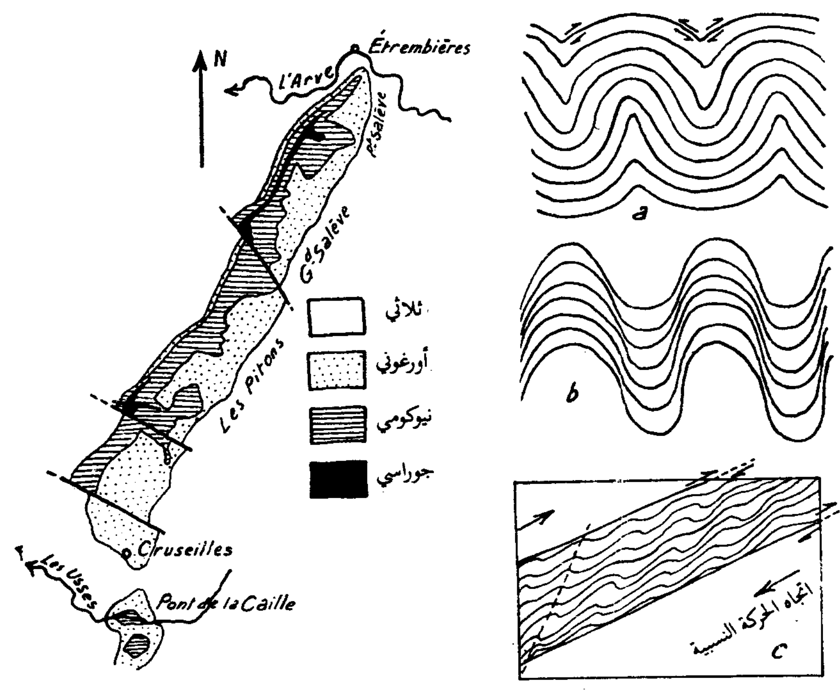
٢ً ـ إنها لا تكون محدودة مكانياً حسب درجة العرض بل تحدث، على العكس، بآن واحد في المناطق القطبية وفي المناطق الاستوائية (وهذا ما يهدم فرضية تبدلات سرعة دوران الأرض).

٣ً ـ إنها ليست عالمية (فهي ليست بالتالي عبارة عن حركات مستوى البحر).

هذا ودعمت فرضية ذبذبات الأرض بنتائج الأبحاث الرائعة التي قام بها دوجير De Geer وتلاميذه عن تاريخ شبه الجزيرة الاسكندينافية (المجن الاسكندينافي حسب تعبير سويس Suess) خلال الرابعي. ومن المعلوم أن هذا المجن، أو الترس، قد غمرته الجموديات تماماً خلال هذه الحقبة الزمنية. وفي أواخر الزحف الجمودي الكبير الثالث أخذت الجمودية الاسكندينافية بالتقهقر. بيد أن البحر اجتاح فوراً الأراضي التي تخلت عنها الجمودية وترك فوقها، كرواسب، الغضاريات الشهيرة والمعروفة بإسم غضاريات ذات **Yoldia arctica** والتي يتراوح ارتفاعها بين ٥٠ و ٢٧٠م. إن تقدم البحر لهذا المدى لم يكن ليتمّ إلّا بفضل خسف المنطقة بشكل شامل كان يجري سوية مع ذوبان الجمودية، واختلافات الارتفاعات الملحوظة بالنسبة للغضاريات ذات

(١) ويميل العالم آرغان E. Argand إلى الاعتقاد بأن الحركات المولدة للقارات ليست أكثر من طيات قاع ذات قطر إنعطافي كبير.

رقيقة، وطيات عريضة إذا كانت السافات سميكة. وإذا كان هناك مركب مؤلف من طبقات تتبدل سماكتها بالاتجاه، فإنه سيلتوي إذن مع شدة أكبر في المناطق التي تكون السافات فيها رقيقة.



شكل ١٨٢ — انفكاكات Salève (السافوا العليا).

شكل ١٨٢ مكرر — **تأثير طبيعة الصخر على الالتواء**. a، سماكة الصخور تظل على حالها (صخور عصية). b، سماكة الصخور تعدلت بفعل الجريان المرن (صخور طيعة). c، طيات الاحتكاك المتولدة في صخر طيع، محصور بين صفين banc عصيّين (عن لاهي).

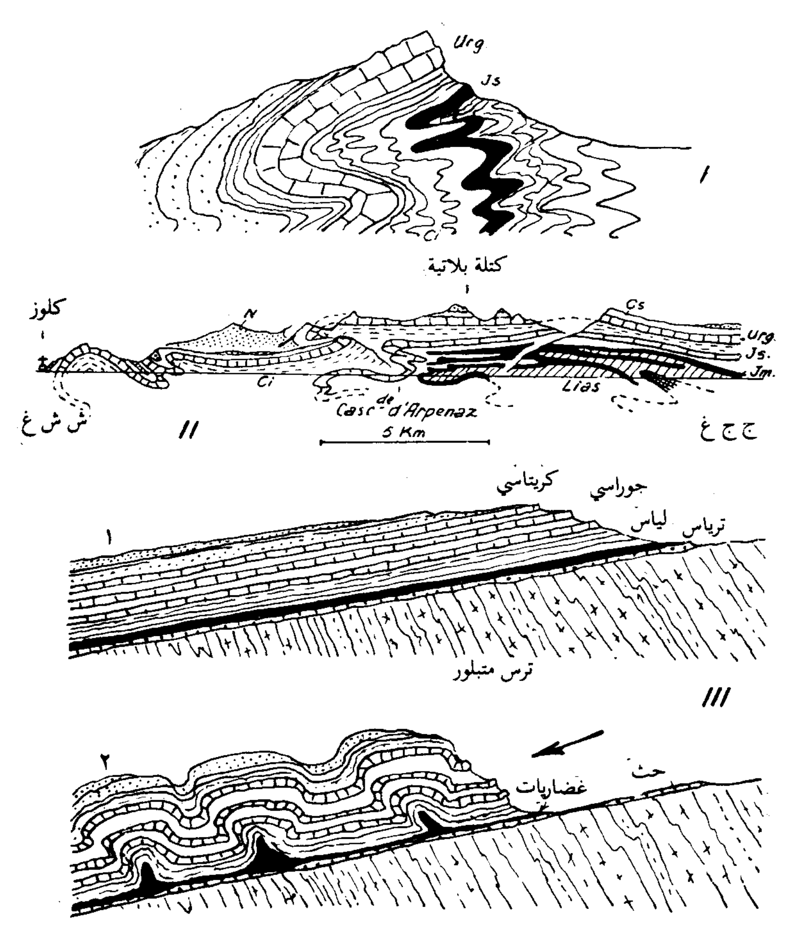
الالتواء غير المنسجم dysharmonique: إذا وجدنا في مركب من طبقات متجانسة، خاضع لجهد أوروجيني (مولّد للالتواء)، أن الالتواء الناتج يكون على العموم منسجماً (عقفات الطيات تكون متداخلة في بعضها البعض بانتظام) فإننا نجد على العكس أنه عندما تكون الطبقات المتعاقبة من طبيعة مختلفة جداً، مارنية وكلسية مثلاً، فإن الالتواء سيكون غالباً غير منسجم (شكل ١٨٣، I) ففي مقابل طية في الصخور الكلسية، وهي طية تكون بالفعل غالباً مقطوعة بطية صدعية

(فالقية) نجد طيتان وحتى بضع طيات في الصخور المارنية. فالحاجز الكلسي الصلد (يكون هنا عصياً) يتلاءم بشكل رديء مع مرونة المركبات المارنية الطيعة، والتي تقدم أحياناً تكاثراً حقيقياً من الطيات. ونجد أمثلة جميلة وكثيرة عن هذه البنية في السلاسل شبه الألبية في السافوا، وخاصة في بوج Bauge ووادي الآرف بين Sallanches و Cluses (شكل ١٨٣، II) وأيضاً في السلاسل شبه الألبية الجنوبية بمنطقة باروني Baronnies.

ولكن إذا نظرنا إليها عن كثب، يكون عدم الانسجام في الالتواء أكثر شدة كلما كانت الطبقات أكثر انخفاضاً من وجهة النظر الطبقية؛ أي أن كل شيء يجري كما لو أن شدة الالتواء تتزايد مع العمق[1]. كما أنه أمكن بناء نظرية قائمة بذاتها عن تشكل السلاسل الجبلية على أساس هذه الملاحظات: فسلسلة شابة لا تظهر على السطح إلّا على شكل بروز ذي حدبات وبسيط نسبياً، ولا نجد التعقيدات البنيوية إلّا في الأعماق مثل الطيات النائمة وأغطية الجرف والتي يستطيع الحت لوحده أن يكشفها وبالتالي ملاحظتها.

الانفصالات Décollements: قد يساعد وجود طبقات طرية، واقعة تحت وطأة مجموعات سميكة من تركيب ليتولوجي أقل مرونة، أقول قد يساعد على انتشار حركات تفاضلية تؤدي إلى ما يمكن أن نسميه **الانفصالات** (شكل ١٨٣، III). وهكذا تبدو الانفصالات كأنها نتيجة مباشرة لظاهرات عدم الإنسجام في الالتواء. وتلعب صخور المارن، والغضاريات، والجبس، من وجهة النظر هذه، دور «مادة زلقة lubréfiant» بالنسبة للطبقات القاسية العليا، والتي تستطيع أن تنفصل عند مستوى سطح تماسها، ثم تنزلق وتلتوي وهي مستقلة تماماً. وهكذا يمكن تفسير التواء جبال الجورا، لأن أكداس الطبقات، الراقدة فوق الترياس، انفصلت عند مستوى الغضاريات المالحة لطبقة كوبر Keuper ثم انزلقت على سطحها (سطح الغضاريات) والتوت على حسابها الخاص (التواءات جلدية épidermiques).

(١) وهكذا أمكن تفسير بعض الالتواءات اللامنسجمة بافتراض أن الطيات قد حصلت تدريجياً كلما تزايد ردم وامتلاء حوض الترسب. وهذه هي النتيجة التي أمكن التوصل إليها عند الدراسة التكتونية للأحواض الفحمية في شمال فرنسا وفي الرور في ألمانيا.



شكل ١٨٣ ــ **التواءات غير منسجمة وانفصالات.** I، ظواهر عدم انسجام: في مركب مؤلف من طبقات تتعاقب فيها القاسية (كلس أورغوني Urg وجوراسي Js) والطرية. II، التـواءات غير منسجمـة لقاعـدة غشاء Morcles-Aravis، على الضفة اليمنى لنهر الآرف، بين Sallanches و Cluses (السافوا العليا). III، انفصال زمرة رسوبية عند مستوى الغضاريات الملحية الترياسية (١) والتواء تالٍ (٢) (لاحظ أن طبقات الحث الأساسي الترياسي ظلت محلياً مترصّعة على الركيزة القديمة) (N: نموليتي Cs: كريتاسي أعلى، Ci: كريتاسي أسفل، Js: جوراسي أعلى، Jm: جوراسي أوسط).

وقد يصدف أن نجد الطبقات المنفصلة قد انتقلت بكل بساطة دون أن تلتوي: ولا يظهر الانفصال في هذه الحالة إلّا على شكل ترقيق Laminage وتجعد شديد للطبقة الزلقة، ولكن قد يؤدي ذلك إلى تلاشي الطبقة المذكورة وإلى ظهور تغطيات شاذة.

لقد لعبت الانفصالات دوراً هاماً جداً أثناء تشكل سلاسل الجبال، وقد كانت ميسورة بفضل مرونة الطبقات القابلة للانفصام. غير أن هذه المرونة تكون على علاقة مباشرة مع الطبيعة الكيمائية لمياه التسرب التي، عندما تكون قلوية (وهذه غالباً حالة المياه الترياسية) تستطيع أن تفرط défloculer الغضاريات شبه الغروية، فتجعلها شديدة السيولة. ولنتذكر أيضاً ظاهرات الميع thixotropie (أي تحول بعض الغضاريات الصلدة إلى حالة مائعة بفعل الخض). وقد تؤدي انفصالات كهذه بذلك إلى تشكيل طيات صدعية وحتى طيات نائمة فوق بعضها البعض على مسافة كبيرة.

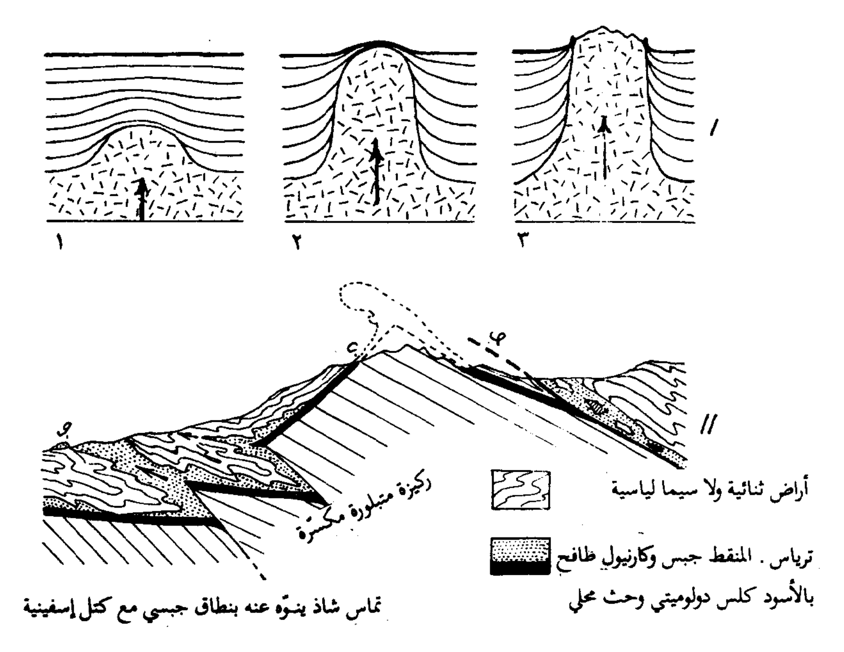
التكتونيك الملحي Salifère: عندما تكون هناك طبقات حاوية على الملح في منطقة خاضعة لقوى الالتواء، فإن هذه الطبقات تتصرف كأجسام مرنة [1]. وتعرف، وخاصة في رومانيا، طيات انتكلينالية تكون نواتها مؤلفة من كتلة من الملح مندفعة بعنف والتي تقطع، كأنها آلة قاطعة، الصخور العليا عند مستوى المفصلة: وقد نالت هذه الطيات، من قبل العالم L.Mrazec، اسم الطيات الديابير أو الثاقبة Plisdiapirs أو طيات ذات نواة ثاقبة Plis à noyau de percement. وتكون الكتلة المنكشفة الملحية، على كل جوانبها، محفوفة ببريشيا bréche تكتونية مؤلف من جلاميد مختلفة جيء بها إلى السطح بفعل صعود الملح. ففي هذه الحالات كان صعود الملح بفعل الالتواء ميسوراً. ولكن توجد حالات أكثر غرابة تمّ فيها صعود الملح ابتداءً من طبقة عميقة غير خاضعة للقوى الأوروجينية. فتحصل حينئذ أعمدة حقيقية صاعدة من الملح التي ترفع تدريجيّاً الطبقات الغطائية. وقد نالت أمثال هذه الظواهر اسم **قباب الملح dômes de sel** وتكون واضحة خاصة في المكسيك، وفي ألمانيا الوسطى، وحتى في الألزاس والتي لوحظت من عهد قريب في منطقة مناجم البوتاس قرب مولهوز (شكل ١٨٤، I). وعندما يكون الغطاء الواقي مثقوباً بفعل الملح والحت، يستطيع الملح أن يتابع حركته الصاعدة وبذلك يمكن تفسير جبال الملح في الجنوب الجزائري مثلاً والتي تفسر عجائب مورفولوجية حقيقية. وهناك تفسير وحيد ممكن لظاهرة كهذه وهو أن

---

(١) م. جينيو Gignoux، تكتونيك الطبقات الملحية: دورها في جبال الألب الفرنسية، الكتاب اليوبيلي للجمعية الجيولوجية الفرنسية. باريس ١٩٣٠).

الملح يستمر في صعوده ويتصرف كمادة مرنة ممتازة، والتي تحتل في القشرة مكاناً متناسباً مع ضعف كثافتها، تحت تأثير وحيد هو الثقل الخاضعة له والناجم عن الطبقات المتنضدة العليا.

وقد جرت تجارب أشير إليها آنفاً (ص ٣٠٧) أظهرت أن الملح المضغوط في مكبس غازل à Filer وتحت حرارة مرتفعة يمكن غزله وتحويله إلى خيط بسهولة كبيرة. أما في الطبيعة فإن هذه الحرارات المرتفعة تتوفر بفعل الغراديان الحراري الأرضي gradient géothermique. الذي يضيف تأثيره لتأثير الضغط، كما هو الحال في الشروط التجريبية المذكورة آنفاً.



شكل ١٨٤ ـ **التكتونيك الملحي**. I، تشكل قبة ملحية. ١، الملح متجمع في نقطة وبدأ في الصعود. ٢، إنهاض سطح الأرض. ٣، القبة السطحية ثقبت ولكن صعود الكتلة الملحية يستمر مكوناً جبلاً من الملح. II، المنحى الذي يمكن أن يتخذه الترياس الحاوي على الملح في منطقة ملتوية وخاصة في جبال الألب: في الداخل منطقة من الجبس تدل على تماس غير عادي (Q)؛ قشرة رقيقة جداً (c)، أحياناً تكون مرققة **laminée**، مؤلفة من كلس دولوميتي ومن حث (غريه) فوق الكتل المتبلورة: حراشف ملحية (مثلاً: جبس متدفق **extravasé**) (g) نحو الخارج في الغطاء الثنائي (لياس).

وقد يصبح الملح أحياناً شديد المرونة لدرجة استطاع فيها أن ينحقن في شقوق أو تصدعات أخرى في الصخور الحاوية له وأعطى عروقاً ملحية تقطع هذه الصخور في شتى الاتجاهات. ولنضف إلى ذلك أن الترياس نظراً لكونه مؤلفاً بالدرجة الأولى من أراض حاوية على الملح، فإن الترياس يكون في أغلب الحالات هو المسبب لهذه الظاهرات المذكورة آنفاً: إذ غالباً ما يكون الملح مصحوباً فيها بغضاريات تزداد مرونتها، كما رأينا، بفعل قلوية مياه الجريان التي تؤدي إلى انفراط المركبات الغضارية. وتستطيع هذه الغضاريات إذن، شأن الملح تماماً، أن تنحقن في الصخور الحاضنة لها، مما يزيد احتدام الحادثات الفوضوية للالتواء الديابيري «الثاقب» diapirisme والتكتونيك الملحي (تكتونيك البروفانسي).

وتلعب المركبات المؤلفة من الكارنيول Cargneules والجبس دوراً مماثلاً في التكتونيك الألبي. ففي حين تظل الصخور الرملية «الحثّية» والكلسية مترصعة فوق قاعدتها القديمة، فإن هذه الرسوبات تجنح دائماً لتبديل الطابق وتظهر أحياناً على شكل «سبق avance تكتوني». وتستطيع حقنات injections كهذه أن تبلغ الطبقات الحديثة جداً وتكون ميسّرة بوجود سطوح فالقية listrique. لهذا يظهر أساس الطبقات المجروفة charriés دائماً تقريباً مصحوباً «بنطاق جبسي» تندمج فيه بشكل فوضوي كل صخور المنطقة (مثلاً: نطاق الجبس لمنطقة Vanoise، ونطاق جبس Pas-du-Roc، في مقاطعة Maurienne ... إلخ) (شكل ١٨٤، II).

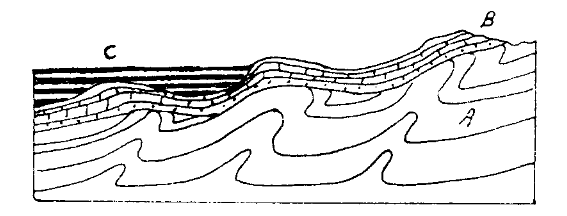
والخلاصة، تكون السماكات الكبرى من الطبقات الحاوية على الملح، في أغلب الحالات، نتيجة تراكمات ميكانيكية تالية للتوضع ولا يمكن اعتبارها دائماً كتراكمات بدائية، طبقية. وهكذا نرى إذن أن سماكات الأراضي الملحية (وخاصة الترياس) لا يمكن أخذها بعين الاعتبار، دون فحص متعمق، أثناء عملية التراكيب الطبقية.

VI ــ عمر الالتواءات والالتواءات المنضدة Superposés

عمر الالتواء: يتأتَّى هذا المفهوم، الذي لم نصل إليه إلّا تدريجياً، عن وجود ثغرة وتنافر زاوي بين زمرتين من الطبقات المتنضدة. ويكون الالتواء دائماً أحدث من أحدث طبقة في الزمرة الملتوية (حد أسفل)، وعلى العكس، يكون أقدم من أكثر الطبقات قدماً التي تغطي، بشكل متنافر، الزمرة الملتوية (حد أعلى) (شكل ١٨٥). وسيكون تحديد عمر الالتواء أكثر دقة كلما كان هذان الحدان، أي عمر الزمرتين، متقاربين، والثغرة التي تفصلهما، هامة. ولكن هذين الحدين كثيراً ما يظلّا غير دقيقين.

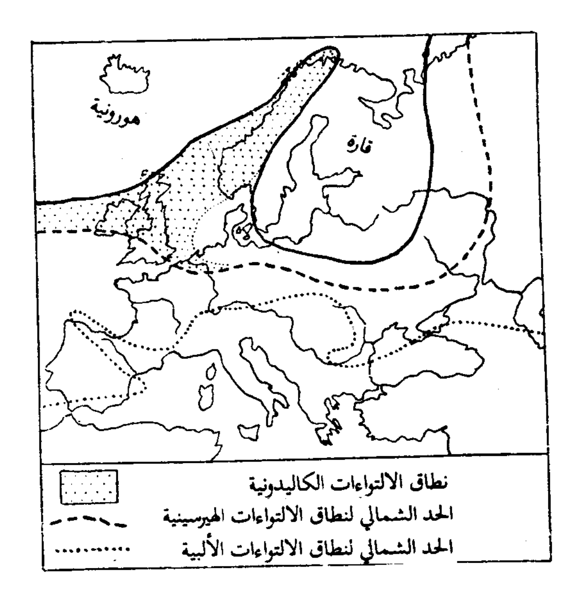
وبتطبيق هذه المبادئ أمكن تمييز زمرة من النطاقات الالتوائية الأساسية في أوروبا (شكل ١٨٦) والتي شكلت في الماضي سلاسل جبلية هامة، أصبحت اليوم متهدمة بشكل متفاوتة بفعل الحت:

١ ــ السلسلة **الهورونية**، أو السابقة للكامبري، وتكون كل الطبقات التالية للآنغونكي أفقية.



شكل ١٨٥ ــ **عمر الالتواءات**. ينحصر عمر الالتواء B بين عمر الطبقات الحديثة في المجموع A (الحد الأسفل) وبين عمر الطبقات الأقدم في المركّب C (الحد الأعلى). لاحظ أن طيات الزمرة B، تتواءم، **تقريبياً**، مع طيات الزمرة السفلى A، لهذا تعطى اسم «الطيات اليتيمة» وعبارة «التكتونيك المتنضد» تستعمل أحياناً للكناية عن بنى معقدة كهذه.

٢ ــ السلسلة **الكاليدونية**، أو الديفونية، تكون الطبقات التالية ــ للسيلورية غير مصابة بالالتواءات.



شكل ١٨٦ ـــ الالتواءات المتعاقبة في أوروبا.

٣ ـــ السلسلة الهيرسينية، أو الآرموريكية، وتتميز بالتواء كل الطبقات العائدة للحقب الأول السابقة للفحمي anté-Houillers أو حتى ما قبل البرمية محلياً.

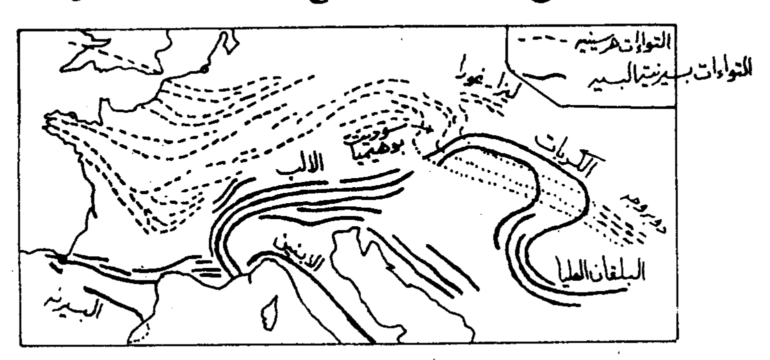
٤ ـــ وأخيراً السلسلة **الألبية**، وهي آخر سلسلة، وهي تالية للميوسين.

امتداد وتنضد الالتواءات: لا يتم بناء نطاق التوائي كلياً، دفعة واحدة. وهكذا يكون الالتواء تدريجياً ويمتد رويداً رويداً. وهكذا فإن جبال البيرينيه انتصبت في آخر الإيوسين بينما أن الالتواء الرئيسي الألبي حدث في الميوسين في حين لم تنجز جبال الكاربات التواءها إلّا في البليوسين.

وينطبق الأمر نفسه على السلسلة الهيرسينية: لأن أول نطاق ملتوٍ، مبتدئاً من وسط فرنسا حتى بوهيميا، كان متبوعاً بجعدة موازية مبتدئة من جنوب انكلترا، مارة ببلجيكا ووستفاليا كي تبلغ بولونيا، وأخيراً كان هناك جعدة ثالثة نجد آثارها في جنوب إيقوسيا وجنوب روسيا.

وقد تتعرض بعض المناطق إلى عدة التواءات متعاقبة. فإذا كانت الطيات

بالنسبة لنطاق التوائي ذاته تظل نوعاً ما متوازية فيما بينها، رغم التعرجات التي تكون أحياناً كبيرة جداً في السلسلة، فقد يصدف أن يتقاطع اتجاها الطيات في نطاقين التوائيين، من عمر مختلف. وهكذا فإن القوس الألبي ـــ الكارباتي الذي تتوازى نوعاً ما طياته الألبية مع الطيات الهيرسينية، في منطقة جبال الألب الفرنسية، نجد في منطقة جبال الكربات، أن الطيات الهيرسينية الممتدة بين السوديت في بوهيميا حتى دوبروجه في رومانيا تتقاطع بزاوية قائمة تقريباً مع الطيات الألبية (شكل ١٨٧).



شكل ١٨٧ ـــ امتداد وتنضُّد نطاقات الالتواءات في أوروبا (التواءات هيرسينية وبيرينية ـــ ألبية).

وعندما تتعرض زمرتان من الطبقات، تتنضد إحداهما فوق الأخرى مع وجود تنافر زاوي، إلى التواء جديد، فإن الطيات المتشكلة، التي لا تظهر في الزمرة العليا الأفقية، قد تبدو متوازية بشكل محسوس مع الطيات القديمة: وطيات كهذه تسمى طيات **يتيمة Posthumes** (شارل باروا) (شكل ١٨٥). وهكذا فإن محدب Pays de Bray في الحوض الباريسي، ذا الاتجاه الهيرسيني، ولكن عمره بعد الحقب الثالث Padt-Tertiaire يعتبر طية يتيمة. ومحدب ساربروك الذي يسمح بانكشاف الفحمي Houiller الغزير في وسط البرمي قد تحرك بعد توضع الترياس والجوراسي فأعطى المحور اللوريني الانتكليناني الشهير (Pont-à-Mousson). وبفضل وجود هذا المحور سمحت عمليات السبر بين عام ١٩٠٦ وعام ١٩٠٨ (R.Nicklès) بكشف الفحمي بمنطقة المورت الموزيل بين الحوضين الغنيين بالحديد وهما حوض Briey وحوض نانسي Nancy. هذا وتكون غالبية الطيات الألبية في آسيا الوسطى منطبقة على الطيات الهيرسينية، مما يجعل من العسير تحديد النطاقات الهيرسينية والألبية في هذه المناطق.

وفي كل الحالات نحن بمعرض ما يسمى حالياً حالات التكتونيك المتنضد (E.Wegman)[١].

VII ــ الأنماط التكتونية

إذا كانت ملامح جبل ما تتعلق بطبيعة المواد التي يتشكل منها وبدرجة تقدم نحته بفعل الحت، فإنها تتعلــق أيضاً، بالأساس، بترتــيب agencement هذه المواد وبهندستها. ويمكن تمييز سلاسل الجبال، كما تتميز، الأبنية الهندسية، بطرازها وهذا ما سنطلق عليه عبارة النمط التكتوني. ومن بين هذه الأنماط التكتونية سنميز اثنين رئيسيين هما: النمط الجوراني والنمط الألبي[*].-

أ ــ النمط الجوراني Jurassien: وهنا تكون الطيات، المتفردة على شكل حزم منتظمة، متوازية ويمكن أن تتابع على مسافات كبيرة جداً. وتكون متناظرة أو منقلبة قليلاً (نظام متساوي الميل) وقد تصبح بعضهـا عبـارة عن طيـات ــ صدعيـة (فالقية). ويمكن أن تكون حزم الطيات مصابة بفوالـق أو بانفكـاكات (مثـل انفكاكات Saléve، وانفكاك بين Vallorbe و Pontarlier)[٢].

وبالنظر لقلة الارتفاع المتوسط لجبال الجورا فإنها لم تتعرض كثيراً «لسلخ» الحت، فلا تزال المفصلات محفوظة كما لا تزال التضاريس مطابقة للبنية، وهذا ما لاحظه

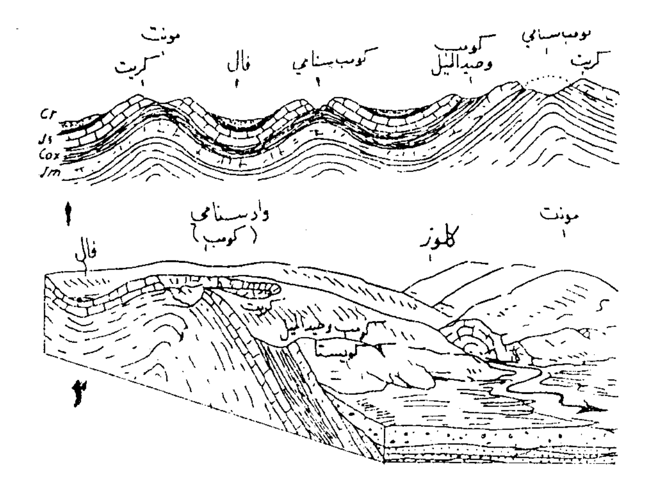
(١) ن. أوليانوف. مشكلات التكتونيك المتنضد والطرائق الجيوفيزيائية (نشرة المخبر الجيولوجي والجغرافي الطبيعي، لوزان، عدد ٩٢، ١٩٤٢).

(*) وهنا يجب أن نميز بين الجوراني Jurassien وهو نمط تكتوني وتضريسي ينسب لجبال الجورا وبين الجوراسي Jurassique وهو طابق جيولوجي في أواسط الحقب الجيولوجي الثاني (المعرِّب).

(٢) نحن هنا بمعرض الكلام عن منطقة من الجورا الملتوية، وهو القسم الجنوبي من السلسلة المجاورة للسهل السويسري. وتجاه هذه المنطقة من الجورا الملتوي نجد الجورا المائدي ويحتل المنطقة الخارجية من السلسلة باتجاه الشمال الغربي. ولا يمكن تفسير المنحى الإجمالي لجبال الجورا، الذي يكون على شكل حزمة مقوسة عريضة مؤلفة من طيات متراصة بشكل وثيق عند نهايتها، إلّا بوجود عقبات هيرسينية، مرئية أو مخفية، أدت إلى تحديد تقدم الحركة. ووجود مكسر عميق كهذا أو الذي يفسر تحطم الطيات نحو الجنوب والبنية الحرشفية المطرودة التي تلاحظ أحياناً وخاصة في منطقة Ambérieu.

سابقاً ثورمان منذ ١٨٥٣ . فتكون المحدبات دائماً هي البارزة بالجورا، وتسمى **مونت** **Monte** (مثل Mont Risoux, Mont Jura) وأحياناً مسنّنة لوجود خطوط ذرى «**كريت** **crêt**» (مثل Crêt d'au ، Crêt de la Neige) وتنفصل عن بعضها بوديان سنكلينالية أو **فال** **Vals** (مثل Val Romey ، و Val Saint-Imier) .

ولما كان الجوراسي، الذي يحتل أكبر نصيب في تركيب هذه الطيات، يضم تناوباً من صخور كلسية ومارنية، فإن الحت الذي استفحل على طول المحاور الانتكلينالية أو على خاصرات الطيات استطاع أن يحفر فيها ميازيب طولانية أو **كومب** **Combes** (كومب انتكلينالي أو وحيد الميل monoclinal) ذات قاع مارني محدود بجروف Falaises أو **كويستات** «أضلاع» Côtes كلسية (شكل ١٨٨ و ١٨٩) .

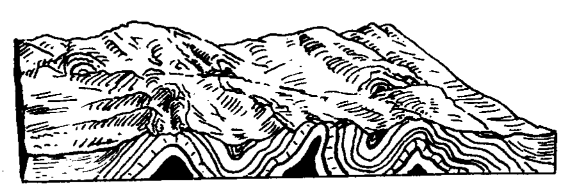


شكل ١٨٨ ــ **الطراز أو الجوراني**: بالأعلى مقطع في جبال الجورا، يظهر العلاقات بين البنية والتضريس. وبالأسفل: مشهد منظوري لكلوز (منخفض عرضاني وسّعه الحت النهري) .

أما المنخفضات العرضانية، وهي أماكن مختارة لتصريف المياه، فقد تعرّضت في أغلب الأحيان وتوسعت على شكل **كلوزات** (جمع كلوز) بديعة (مثل كلوز Cluse de Clerval ، des Hôpitaux)(*) .

(*) ويعتبر خانق الربوة الذي ينطلق منه نهر بردى نحو دمشق مثالاً بديعاً عن كلوز عبر جبل قاسيون (المعرِّب) .

وبالاختصار، يتميز الطراز الجوراني بالتـواء ضعيـف ومنتظـم. فالطبقـات المتنضدة فوق الغضاريات الترياسية اضطرت للانفصال والالتواء، بكامل استقلالها، منزلقة فوق الركيزة القديمة المائلة باتجاه خارج السلسلة، وهي قاعدة يبدو أنها لم تتعرض لأي ضرر بفعل هذه الحركة (شكل ١٨٣، III).



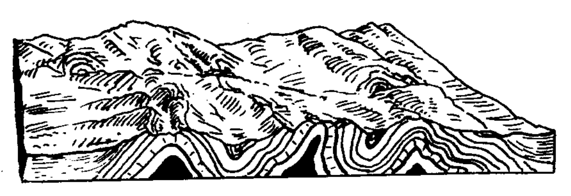
شكل ١٨٩ — تضريس جوراني

جبال الجورا بجوار مدينة برن السويسرية (ضواحي بلدة Moutiers) (نقلاً عن آ. Heim)

ب — **النمط الألبي**: وينتج عن شدة الالتواء الذي يؤدي، في أبسط الحالات، إلى ظهور **البنية المتساوية الميل isoclinale** (شكل ١٧٧، III) مع حزم من طيات متراصة جداً، مندفعة جميعاً في الاتجاه نفسه، فللخواصر المباشرة، والخواصر المنقلبة، لها إذن جميعاً الميل نفسه، كما أن الطيات الصدعية تصبح القاعدة السائدة وكذلك عدم انسجام الالتواء. وتظهر هذه البنية بجلاء عظيم في السلسلة شبه الألبيـة الدفينية — السافوية (شكل ١٩٠) ولكن بما أن الارتفاع الوسطي، هنا، أكثر بكثير مما هو في الجورا، فإن الطيات تكون أكثر تمزقاً بكثير بفعل الحت، كما أن تعمق الكومبات Combes المقعرية (الآنتكلينالية) قد أدّى حتى إلى **انقلاب inversion** التضريس؛ أي أن المحاور المقعرية تتميز بوجود وديان مشرفة من علٍ ناتجة عن **المقعرات المعلقة Synlinaux Perchés** (شكل ١٩٠ — ١٩١).

وفي مرحلة أكثر تقدماً، نجد بنية **ذات حراشف متراكبة أو تساندية en écailles imbriquées** (شكل ١٧٧، IV) تكون فيها كل الطيات، في منظومـة متساوية الميل، وقد أصبحت عبارة عن طيات صدعية بفعل استفحال الالتواء فقد اختفت الخواصر المنقلبة، كما اختفت المفـصّلات، كما أن الخواصر العادية نفسها أصبحت أحياناً مرقّـقة laminés. كما أن الركيزة المتبلورة، التي تأثرت أحياناً بالالتواء،

وبالاختصار، يتميز الطراز الجوراني بالتواء ضعيف ومنتظم. فالطبقات المتنضدة فوق الغضاريات الترياسية اضطرت للانفصال والالتواء، بكامل استقلالها، منزلقة فوق الركيزة القديمة المائلة باتجاه خارج السلسلة، وهي قاعدة يبدو أنها لم تتعرض لأي ضرر بفعل هذه الحركة (شكل ١٨٣، III).



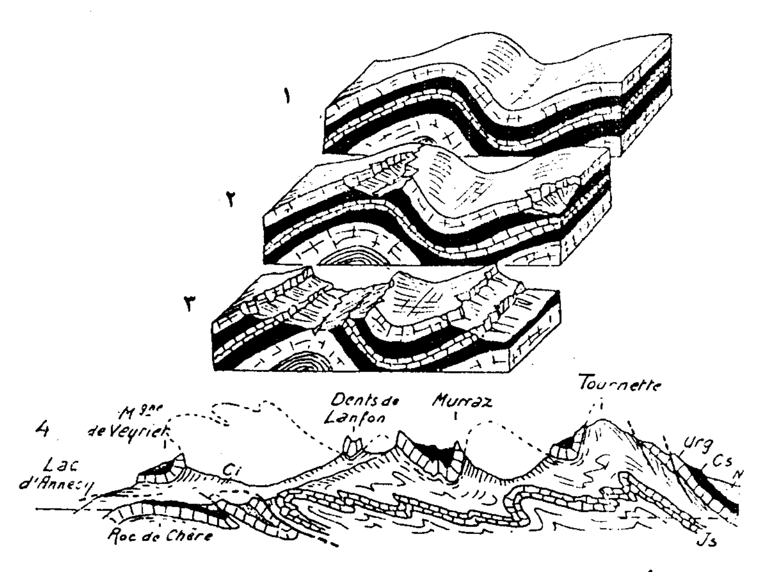
شكل ١٨٩ — تضريس جوراني

جبال الجورا بجوار مدينة برن السويسرية (ضواحي بلدة Moutiers) (نقلاً عن آ. Heim)

ب — **النمط الألبي**: وينتج عن شدة الالتواء الذي يؤدي، في أبسط الحالات، إلى ظهور **البنية المتساوية الميل isoclinale** (شكل ١٧٧، III) مع حزم من طيات متراصة جداً، مندفعة جميعاً في الاتجاه نفسه، فللخواصر المباشرة، والخواصر المنقلبة، لها إذن جميعاً الميل نفسه، كما أن الطيات الصدعية تصبح القاعدة السائدة وكذلك عدم انسجام الالتواء. وتظهر هذه البنية بجلاء عظيم في السلسلة شبه الألبية الدفينية — السافوية (شكل ١٩٠) ولكن بما أن الارتفاع الوسطي، هنا، أكثر بكثير مما هو في الجورا، فإن الطيات تكون أكثر تمزقاً بكثير بفعل الحت، كما أن تعمق الكومبات Combes المقعرية (الآنتكلينالية) قد أدّى حتى إلى **انقلاب inversion** التضريس؛ أي أن المحاور المقعرية تتميز بوجود وديان مشرفة من علٍ ناتجة عن **المقعرات المعلقة Synlinaux Perchés** (شكل ١٩٠ — ١٩١).

وفي مرحلة أكثر تقدماً، نجد **بنية ذات حراشف متراكبة أو تساندية en écailles imbriquées** (شكل ١٧٧، IV) تكون فيها كل الطيات، في منظومة متساوية الميل، وقد أصبحت عبارة عن طيات صدعية بفعل استفحال الالتواء فقد اختفت الخواصر المنقلبة، كما اختفت المفصّلات، كما أن الخواصر العادية نفسها أصبحت أحياناً مرقّقة laminés. كما أن الركيزة المتبلورة، التي تأثرت أحياناً بالالتواء،

تتحطم على شكل **أسافين coins** صلدة تحت تموجات الغطاء الرسوبي الأكثر مرونة. وكثيراً ما تحوي المناطق الألبية الداخلية هذه البنية التي تصادف بالواقع في السلسلة الهيرسينية (الحوض الفحمي الفرنسي ـــ البلجيكي).

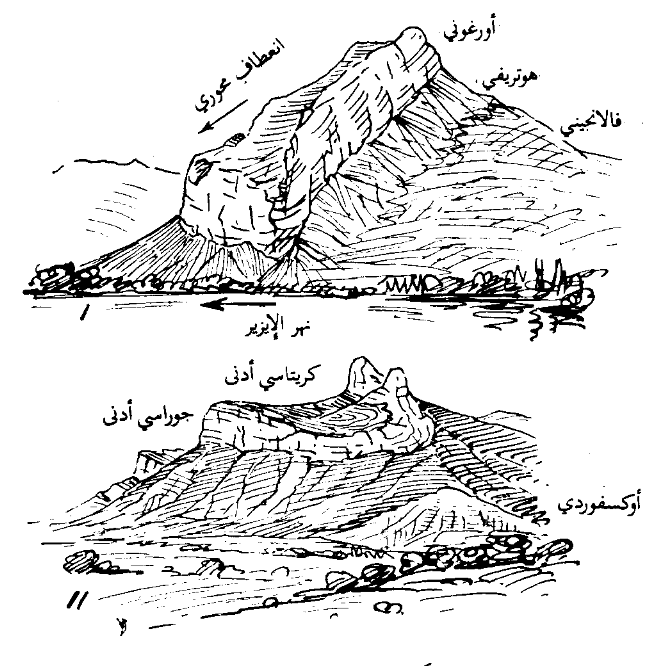


شكل ١٩٠ ـــ **النمط الألبي**. ١، ٢، ٣، مجسمات ترمي إلى إيضاح تشكل المقعرات المعلقة. ٤، مقطع في كتلة Bornes، بجوار Annecy، يبدي نمط المقعرات المعلقة وعدم انسجام الالتواءات.

والشذوذ الشهير بمنطقة Petit-Cœur بمقاطعة Tarentaise (شكل ١٩٢) حيث تظهر فوق الكتلة المتبلورة لمنطقة Belledonne، طبقات شيستية ذات بصمات نباتات فحمية مندسة بين طبقتين من اللياس ذي البيلمنيتات، هذا الشذوذ هو الذي أمكن تفسيره بالبنية التساندية أي المتراكبة. فبينما كان إيلي دو بومون Elie de Baumont يستنتج من ذلك أن النبيت الفحمي كان موجوداً خلال اللياس (وهذا ما كان يهدم كل مفاهيم الاستحاثية الطبقية التي لم يمكن الحصول عليها إلا بشق الأنفس)، كان فافر A. Favre، على عكسه يبرهن بحق، على أن الطبقات سبق لها أن انتصبت ثم تشابكت بفعل طية ـــ صدعية.

وأحياناً تتحقق **البنية ذات الطيات النائمة المتكدسة empilés**، كما رأينا ذلك

سابقاً في مون جولي Mont-Joly ، بين ميجيف Mégève وسان جيرفيه (السافوا العليا) (شكل ١٧٧ ، V) وفي وادي الآرف في سافلة en aval مدينة سالّانش Sallanches (شكل ١٨٣ ، II) . ففي جبل جولي Joly يبدي الغطاء الرسوبي للكتل المتبلورة تعاقباً من أربع طيات لياسية أفقية ذات نوى ترياسية والتي تأتي جذورها ، المؤلفة من طيات متراصة وشديدة الانتصاب ، كي تنغرس في كتلة أوتري Outray المتبلورة . وقد أدى الحت إلى تلاشي المفصّلات الانتكلينالية في اللياس ، ولكن ، على مسافة بضعة كيلومترات من هنا ؛ أي بين سالّانش Sallanches وكلوز Cluse ، تكون جبهة الطيات اللياسية مغلّفة بالتواءات غير منسجمة مؤلّفة من طبقات جوراسية وكريتاسية والتي تشكل تضاريس الضفة اليمنى لنهر الآرف والتي سبق لها أن أثارت



شكل ١٩١ — مقعران معلقان.

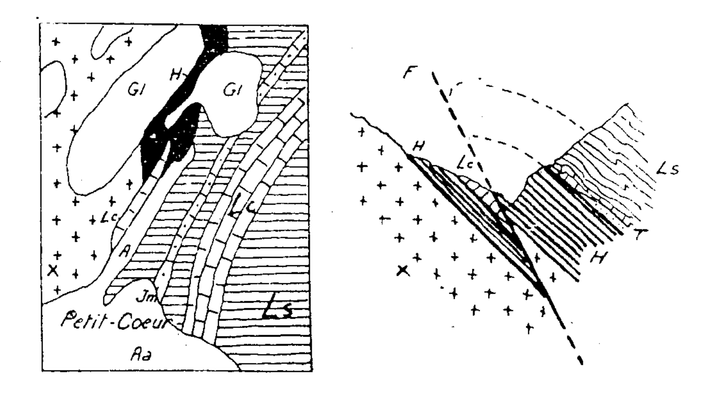
I ، مقعر Néron قرب غرينوبل . II ، مقعر la Serre de Chamel قرب Sisteron .

دهشة العالم سوسّور de Saussure المشهور . وهذه الطيات النائمة هي بالفعل عبارة عن **أغطية جرف صغيرة حقيقية** ، وهي بنى تميز بالأساس النمط الألبي . وهكذا نفهم

أنه عندما تكون منطقة من هذا النوع فريسة لحتّ يهدم المفصّلات الجبهية، ويفصل الطيات عن جذورها ولا يسمح ببقاء سوى «**مزق التغطية lambeaux de recouvrement**» فإن التفسير البنيوي لها يصبح عسيراً، لدرجة أمكن تصنيف أمثال هذه البنى Structures بين الشذوذات التي لا سبيل لحل رموزها.

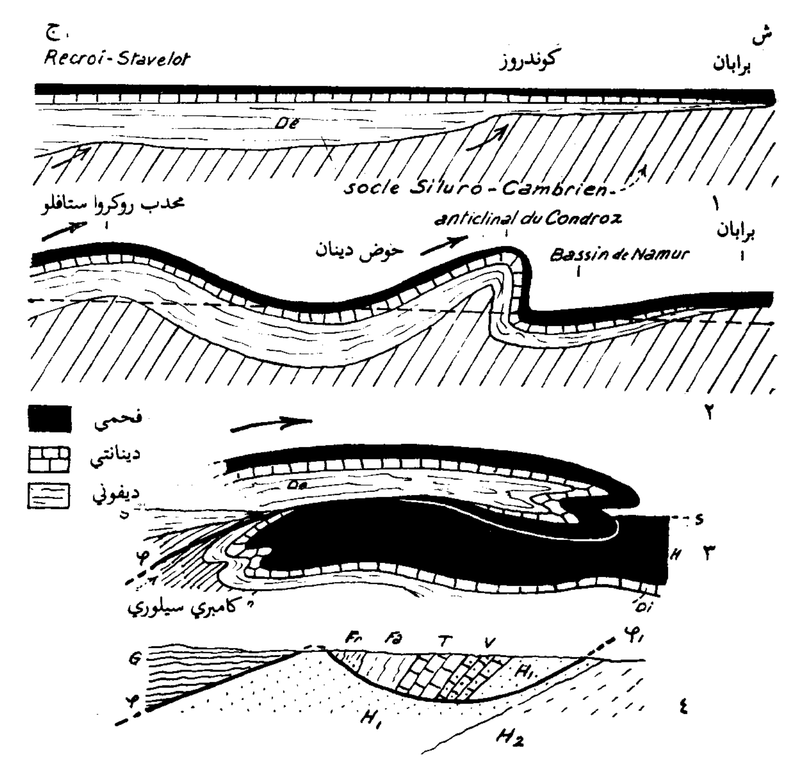
ومع ذلك يعود الفضل الكبير للعالم مارسيل برتران Marcel Bertrand الذي استطاع حل معضلات أمثال هذه التعقيدات البنيوية في السلسلة الألبية بفرضية الطيات النائمة على مسافة كبيرة أو أغشية الجرف أو التغطية.

ولكن، على عكس ما قد يتبادر لذهننا، فإنه لم تصادف تغطيات حقيقية لأول مرة في جبال الألب، بل في أعماق الحوض الفحمي الفرنسي ـــ البلجيكي. ففي



شكل ١٩٢ ـــ شذوذ بيتيكور Petit-Cœur في منطقة تارانتيز Tarentaise (سافوا). على اليسار خارطة للمنطقة (E.Roch)، إلى اليمين مقطع من الشمالي الغربي إلى الجنوب الشرقي (X: متبلور، H: فحمي، T: ترياس، Lc و Ls: لياس كلسي وشيستي، Jm: جوراسي أوسط، Aa: مخروط انصباب، Gl: لحقيات جمودية، F: طية فالقية لـ Petit-Cœur).

هذه المنطقة وجدت شذوذات عديدة عانت منها فراسة المدقّقين وفطنتهم: فقد كان الديفوني فوق الفحمي (وقد أظهرت أعمال السبر في هذا الديفوني فعلاً وجود فحمي مؤكد بالأسفل)؛ أي أن النظام الطبقي كان إذن معكوساً تماماً. وقد خطر للعالم غوسليه Gosselet وللجيولوجيين البلجيك فكرة ترمي إلى ربط مزق الديفوني بطية كبيرة نائمة من السلسلة الهيرسينية قادت، بفعل الجرف، طيات حوض دينان

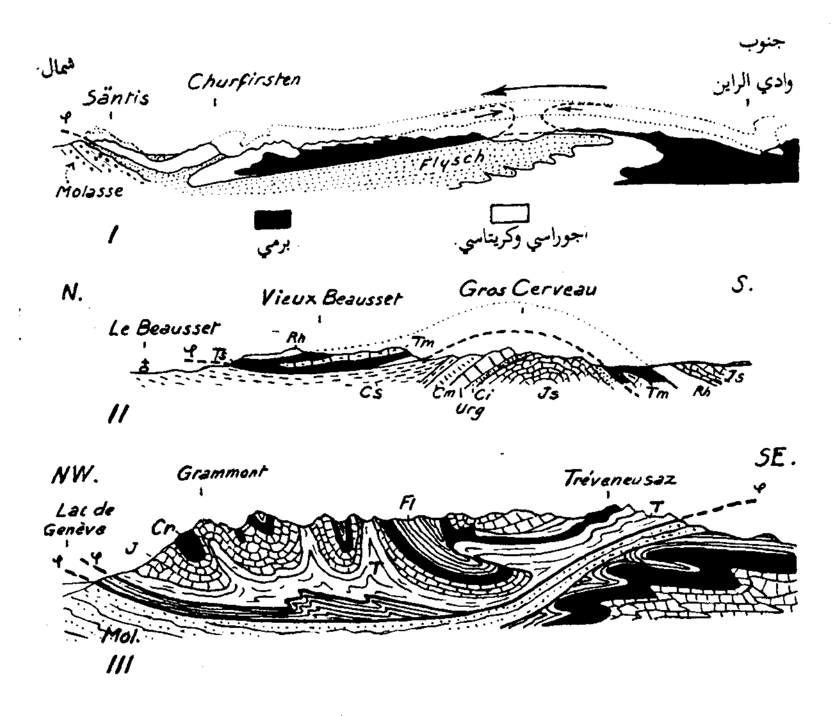


شكل ١٩٣ ــ **بنية الحوض الفحمي الفرنسي ــ البلجيكي**. ١، ارتصاف الطبقات قبل الالتواءات الهيرسينية. ٢، وضع الطبقات في بدء الالتواءات الهيرسينية. ٣، احتدام الهيرسيني الذي نقل محدب Condroz وحوض Dinant المغطى فوق حوض Namur (SS السطح الحالي للأرض). ٤، الوضع الحالي للحافة الجنوبية لمقعر نامور Namur عند لندلي Landelies (A.Briart). (I الصدع الكبير. I صدع Tombe، G، ديفوني أسفل وجيديني. Fr، فراسني. Fa، فاميني. T، تورنيزي. V، فيزيثي. H1، فحمي أسفل. H2، فحمي Houiller أعلى).

Dinant فوق طيات حوض نامور (شكل ١٩٣)، هذا في حين يتمثل سطح الجرف بصدع كوندروز Condroz (صدع الجنوب الكبير أو الصدع الإيفلي eifélienne). وكان الحت الذي تلى انبعاث السلسلة الهيرسينية هو المسؤول عن اختفاء القسم الأعظم من غطاء الجرف هذا. وكل شيء يفسر ذلك.

وبعدئذ، أي في عام ١٨٨٤، خطر لبال العالم مارسيل برتران أن يقارن هذه البنية مع البنية الملحوظة منذ زمن طويل في جبال ألب غلاريس Glaris، في سويسرا (شكل ١٩٤، I) حيث تظهر طبقات ثلاثية (نموليتية) ملتوية بشدة، ومغطاة بزمرة

عادية من البرموترياسي وبين الزمرتين، نجد بعض الجوراسي والترياسي المقلوبين. وقد حلت مكان تفسير الطية المزدوجة (إحداهما مائلة نحو الشمال والأخرى نحو الجنوب)، حسب رأي هايم Heim، فرضية طية وحيدة قادمة من الجنوب، أي نوع من طية شاسعة نائمة باتجاه الشمال، قامت باقتلاع بعض «مزق الدفع Poussée» من الكتلة السفلى خلال عملية الطرد refoulement.



شكل ١٩٤ ــ بنية أغطية الجرف (الألب، بروفانس). I، مقطع عرضاني لجبال ألب غلاريس Glaris، التفسير بطية مزدوجة حل محله تفسير غطائين منضدين ناتجين عن «مط» الخاصرة المقلوبة لكلتا الطيتين النائمتين على مسافة بعيدة (M.Lugeaon). II، مقطع لتل بوسّيه Beausset، قرب مرسيليا: اسفين klippe لياسي ترياسي في حالة تغطية فوق الكريتاسي الأعلى (Cs)، وهو بقية طية قدمت من الجنوب (م. برتران) (Tm: ترياس أوسط، موشلكالك، Ts: كوبر، Rh، ريتي، Js، جوراسي، Ci، كريتاسي أسفل. Cm، كريتاسي أوسط، Cs، كريتاسي أعلى). والتفسير بواسطة طية نائمة يحل هنا محل فرضية طية وحيدة (على شكل فطور Champignon). III، مقطع لجبال البريئالب (ماقبل الألب) لمنطقة شابليه Chablais، حسب تفسير هـ. شاردت H.Schardt، أي أغطية جرف من أصل بعيد (T، Trias، J، جوراسي. Cr، كريتاسي. Fl، فليش، Mol، أوليغوسين، ١، سطح تماس شاذ أي غير عادي).

وقد امتد هذا التفسير حينذاك إلى الشذوذات الأخرى العائدة للسلسلة الموجودة في أوبرلانـد منطقـة برن Oberland Bernois وجبـال البريئـالب في سويسرا الفرنسية (منطقة شابليه Chablais)، وفي منطقة بحيرة Thoune، في الشمال، وفي وادي الآرف بالجنوب.

وفي خلال ذلك، أعطى مارسيل برتران، عام ١٨٨٧، تفسيراً مماثلاً بالنسبة لتل بوسّـيه Beausset الشهير (شكل ١٩٤، II) الواقع على مسافة بضعة كيلومترات إلى الشمال من مدينة طولون، وهو تل يتألف من ترياس ومن لياس، منعزل في وسط حوض من الكريتاسي الأعلى، وكان يفسر بالماضي على أنه جزيرة في البحر الكريتاسي أو أنه طية على شكل «فطر» ثقبت الغطاء الحديث.

وهنا لقد تعرضت الطية النائمة، التي انقطعت خاصرتها المقلوبة تماماً (الترياس يعوم مباشرة فوق الكريتاسي) إلى تشريح كامل بفعل الحت الذي لم يترك باقياً منها سوى مزقة التغطية الصغيرة المسماة تل بوسّـيه Beausset. فقد اندفعت هذه الطية من الجنوب الغربي نحو الشمال الغربي ولا يتجاوز مداها بضعة كيلومترات.

وجاء تحقيق فرضية مارسيل برتران، من منطقة ليست بعيدة؛ أي في شمال مرسيليا حيث تُـصادف مزقٌ ترياسية في وضع مماثل. فالكريتاسي، الذي يؤلف القاعدة المحلية، يحتوي هنا على طبقات رقيقة من الليغنيت المستثمر في موقع Fuveau، كما أن نفقاً لتصريف مياه مناجم غاردان Gardanne يمر من تحت انكشاف ترياسي مع أنه يظل دائماً ضمن الكريتاسي.

ولكن لم يتم قبول فرضية الانجرافات الألبية نهائياً، إلّا بوقت متأخر، وخاصة بعد دراسات هـ. شاردت H.Schardt على منطقة ستوكهورن و شابليه Chablais (١٨٩٣) (شكل ١٩٤، III). وبعد دراسات M. Lugeon عن Chablais حيث استدل على وجود تنضد هائل للأغطية أو الأغشية (١٨٩٦). وبعدئذ لم تقم الأبحاث بأكثر من تأكيد وتكميل هذا التفسير بحيث أن السلسلة الألبية تبدو حالياً كأنها نموذج مناطق أغطية الجرف، ولعله نموذج فريد من نوعه.

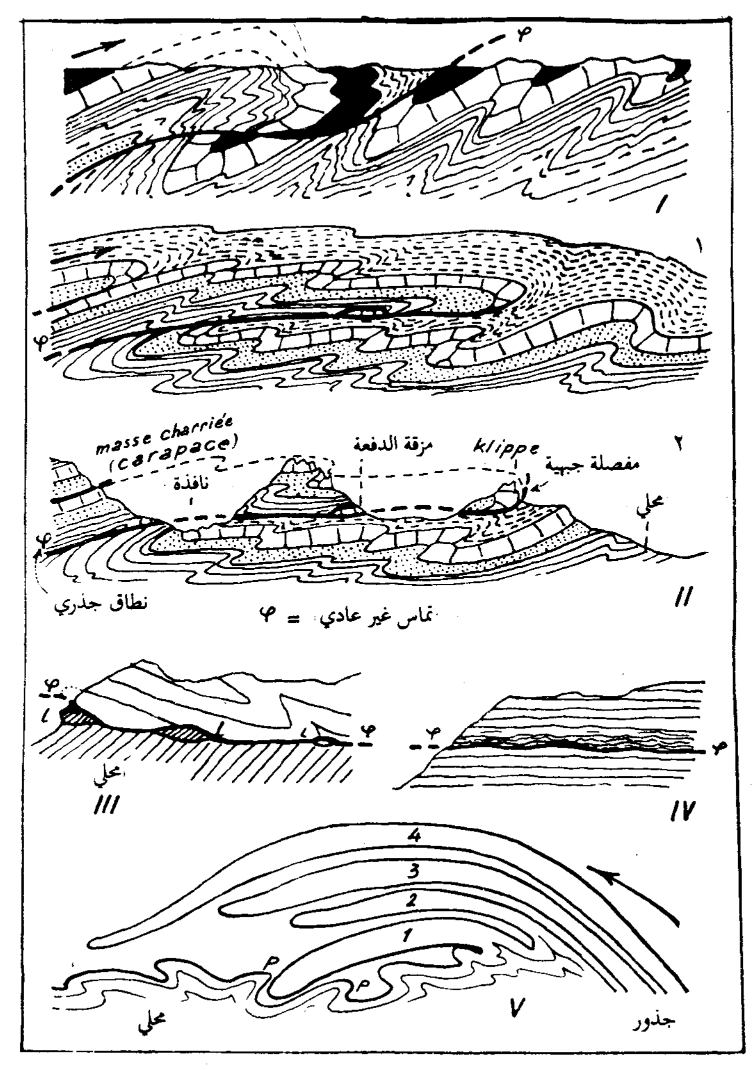
المصطلحات المستعملة في مجال أغطية الجرف : إن أي غطاء جرف ما، سواءً كان عبارة عن طية نائمة على مسافة أفقية كبيرة مع « مط » للخاصرة المنقلبة inverse (غطاء من **الجنس الأول** حسب تصنيف Termier) أو على شكل صدع تراكبي chevauchement؛ أي عبارة عن رزمة Paquet من الطبقات انفصلت عن قاعدتها العادية ونقلت فوق قاعدة أجنبية (غطاء من **الجنس الثاني** حسب Termier) فإنها تضم عدداً من الأجزاء التي يجدر بنا تعريفها (شكل ١٩٥).

وقبل كل شيء هناك **الكتلة المجروفة** (أو الغريبة exotique) التي قد تتألف من طبقات أجنبية تماماً عن **الأساس المحلي Substratum autochtone** الذي ترقد فوقه: ويمكن للطبقات العائدة لنفس العمر في كل من الزمرتين أن تحوي مع ذلك على سحنات faciès مختلفة، مما يقدم برهاناً على الطرد refoulement.

وهذه الكتلة المجروفة هي عبارة عن الخاصرة العادية للغطاء أو الخاصرة العليا، وقد تكون متموجة بصورة ثانوية، ولكنها تبدو عادة مع منحى هادئ، مما أعطاها اسم **درع carapace**. وعندما تتنضد بضعة أغطية، يكون لأكثر الأغطية ارتفاعاً منشأ أكثر بعداً من الأغطية السفلى (أغطية ذات جذور خارجية أو داخلية حسب تعريف لوجون L.Lugeon). وقد يحدث للأغطية العليا أن **تغمر رؤوسها s'encapuchonner** في القسم الظهري لغطاء أسفل ، مما يؤدي إلى طيات متجهة في اتجاه معاكس، وهذه **الطيات العائدة** لا تشهد إذن أبداً عن تبدل في وجهة الجهد الأوروجيني. وعندما تظهر أغطية مجموعة مجروفة بالتعاقب وتغطي بعضها البعض في نفس الاتجاه، وتؤلف ما يمكن تسميته إكليلية أو كشكش **Festons** (م. جينيو و ل. موريه).

وتكون الخاصرة السفلى للأغطية في أكثر الأحيان مرقّقة laminé، بحيث أن الخاصرة العليا هي التي تجري من قاعدتها (التي تكون أحياناً أساس الزمرة الطبقية للغطاء) فوق الطبقة المحلية autochtone على طول سطح يسمى **سطح التماس الشاذ (غير العادي)** أو أيضاً **السطح أو الصدع الليستري Listrique** لأنها متموجة وعلى شكل مجرفة Pelle. ويمكن أن يكون هذا السطح متميزاً بمزق من الطبقات المقتلعة من

القاعدة: وتسمى **مزق الدفعة Poussée** (شكل ١٩٥، III)، التي يمكن أن يكون لها أحياناً أصل بعيد نوعاً ما ومن طبيعة ليتولوجية متغيرة. وهكذا أمكن التعرف على



شكل ١٩٥ ــ **بنية أغطية الجرف واصطلاحاتها**. I، صدع تراكبي ناله التواء تال فتحول إلى غطاء جرف. II، غطاء جرف مندمج في رسوبات سطحية (١) ثم انكشف بفعل الحت وأظهر مختلف أجزائه (٢). III، مزقة دفع في أساس كتلة مجروفة (١). IV، تناسق **accordance** طبقي بين كتلة مجروفة وأساسها بسبب الترقيق **laminage**. V، بنية على شكل تنضد الأغطية: ١ و ٢ غطاءان من ذوات الجذور الخارجية (أقدمها) ٣ و ٤ غطاءان من ذوات الجذور الداخلية (أحدثها). p = طيات عائدة ناجمة عن غمر غطاء في القاعدة.

« بُراية copeaux » حقيقية من أراضي متبلورة تشهد على أن الأعماق القديمة قد اشتركت في الالتواء، وفي أغلب الأحيان، تتألف من صخور جبس ترياسية، مصحوبة بكارنيول انحقنت على طول هذه السطوح (نطاقات الجبس في جبال الألب) . وعندما يكون لمزق الدفعة هذه، حجم كبير نوعاً ما تسمى حينئذ **شفرات الجرف** أو **الحراشف**، وعندما تكون هذه المزق ذات أبعاد متواضعة، وعديدة ومتفاوتة في تلاحمها مع بعضها البعض، فتدعى عندئذ **البريش brèches التكتوني** أو **الميلونيت**. ولكن التماس بين الكتلة المجروفة وبين أساسها لا يكون بالضرورة مصحوباً بهذه التشكلات الأجنبية، كما لا يظهر أحياناً هذا التماس بأكثر من تماس بين طبقتين مختلفتين من حيث الطبيعة والعمر. كما أن التنافر قد لا يكون دائماً زاوياً كما أن انزلاق الغطاء قد يتمكن من إعطاء توافق اصطناعي بين الطبقات أو مايسمى **الوفاق أو التنسيق accordance** (شكل ١٩٥، IV) .

وقد تكون جبهة غطاء متميزة بوجود **مفصلة جبهية** والجانب الآخر بنطاق **الجذور**، و **المفصلة الجذرية** تقوم عندها بعملية الوصل بين الطية النائمة والمحلية autochtone .

وكثيراً ما نجد أن الأجزاء الجبهية والجذرية من الأغطية قد تلاشت بفعل عمل الحت. وتعوم الكتل الأجنبية، المنعزلة كلياً، تعوم حينئذ، بكل معنى الكلمة، فوق أساسها. وإذا كان الحت نشيطاً جداً فقد يختفي القسم الأعظم من الغطاء ولن يبقى سوى أجزاء وهي **مزق التغطية** أو **كليب klippes**[1]. إذا كانت لاتزال هامة وعلى حجم جبل (klippes des Annes قرب آنسي)، ولكنها تدعى **الجلاميد الأجنبية أو الغريبة الأصل blocs exotiques** إذا كانت صغيرة ومتضائلة إلى قطع بسيطة.

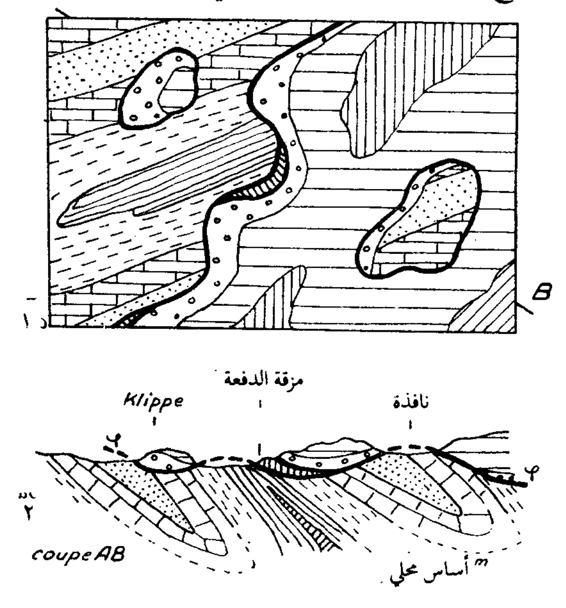
وعلى خلاف ذلك يعمد الحت إلى إيجاد فتحات أو **نوافذ** متفاوتة في اتساعها في الأغطية، فتحات تسمح بملاحظة الأساس المؤلف من الجذر الأحدث من غطاء آخر أو من الصخر المحلي.

---

(١) وتشبَّه هذه الأشكال بعقبات écueils من صخور قاسية في مشهد ذي أشكال ملطفة.

أما على الخارطة فإن تمثيل غشاء جرف يسمح بتوضيح الخصائص التي أتينا على ذكرها. وسنلاحظ بصورة خاصة أن خط التماس الشاذ المقابل لمستوى جرف أفقي نوعاً ما، سيبدو على شكل خط متعرج يحوي على زوايا داخلة عند مروره فوق الوديان، وعلى شكل جنْبهات avancées عند اجتيازه الأعراف؛ أي كخط تسوية عادي. وتكون أية مزقة تغطية موضوعة فوق أساسها، شأن تعاقب من طبقات من زمرة عادية، ولكنها مرصَّعة في أساسها، بخط تماس شاذ، وكذلك الأمر بالنسبة للنوافذ (شكل ١٩٦).

ويمكن أن يتفرع خط التماس الشاذ هذا كي ينغلق عند مروره بمزق الدفعة.



شكل ١٩٦ ــ **منطقة أغشية جرف**. الخارطة (١) والمقطع AB (٢).

التكتونيك الألبي

لقد تمت في جبال الألب ولادة النظريات التكتونية الحديثة ومن هناك أيضاً تخرج معظم الجيولوجيين التكتونيين.

إذن ليس من نافلة القول إعطاء بعض التفاصيل هنا عن بنية الجزء الألبي البحت من السلسلة، وهو الجزء الذي يشتمل على قوس الألب الغربية، من البحر الأبيض المتوسط حتى الوادي الأعلى لنهر الراين (Prätigau, Rhaëticon)، وجبال الألب الشرقية لما وراء الراين حتى حوض فيينا حيث تولد جبال الكربات.

بنية جبال الألب الغربية: إنها جبال الألب الفرنسية ـــ الايطالية ـــ السويسرية. ويمكن تقسيمها حسب الاتجاه الطولاني إلى منطقتين: **المنطقة الخارجية** حيث تكون السحنات faciés دوفينية أو هلفيتية (سويسرية) **والمنطقة الداخلية** حيث تكون السحن بريانسونية briançonnais أو بنّية Penniques. وتنفصل المنطقة الداخلية والخارجية عن بعضهما بسطح كبير ذو تماس شاذ معقد يمتد على طول السلسلة الذي يقسمها إلى جزئين والتي يشار إليها بعبارة **تراكب بنّيكي جبهي**.

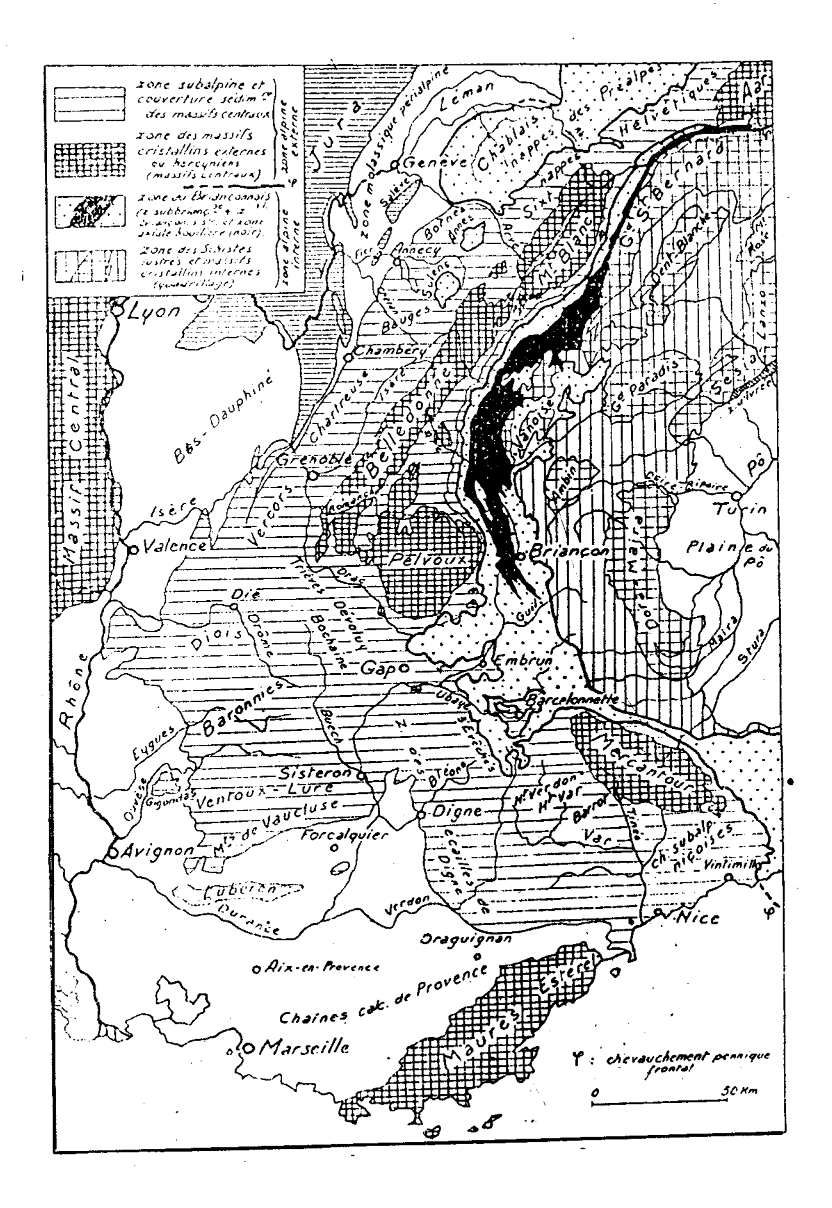
ويمكن تقسيم كل من هاتين المنطقتين، بدورها، إلى عدد من نطاقات قائمة على طبيعة، وسحنة تناسق الصخور التي تصادف فيها (شكل ١٩٧ و ١٩٨).

المنطقة الخارجية: إنه مجال الجيوسنكلينال الدوفيني (أو الفاليزي) أو مقدمة الحفرة الألبية. وتضم بالتتالي من الخارج باتجاه داخل السلسلة، النطاقات التالية (الهلفيتيد حسب ستاوب R.Staub).

نطاق السلاسل تحت الألبية (السلاسل الكلسية العالية، بورن Bornes، بوج Bauges، شارتروز Chartreuse، فيركور Vercors، ديوا Diois، بارونّي Baronnies، ديفولوي Dèvoluy ... إلخ، وتتألف خاصة من أراضٍ من الحقب الثاني (جوراسي أعلى وكريتاسي) وثلاثية، مختلطة (بحرية قوقعية méritiques وبحرية عميقة bathyaux).

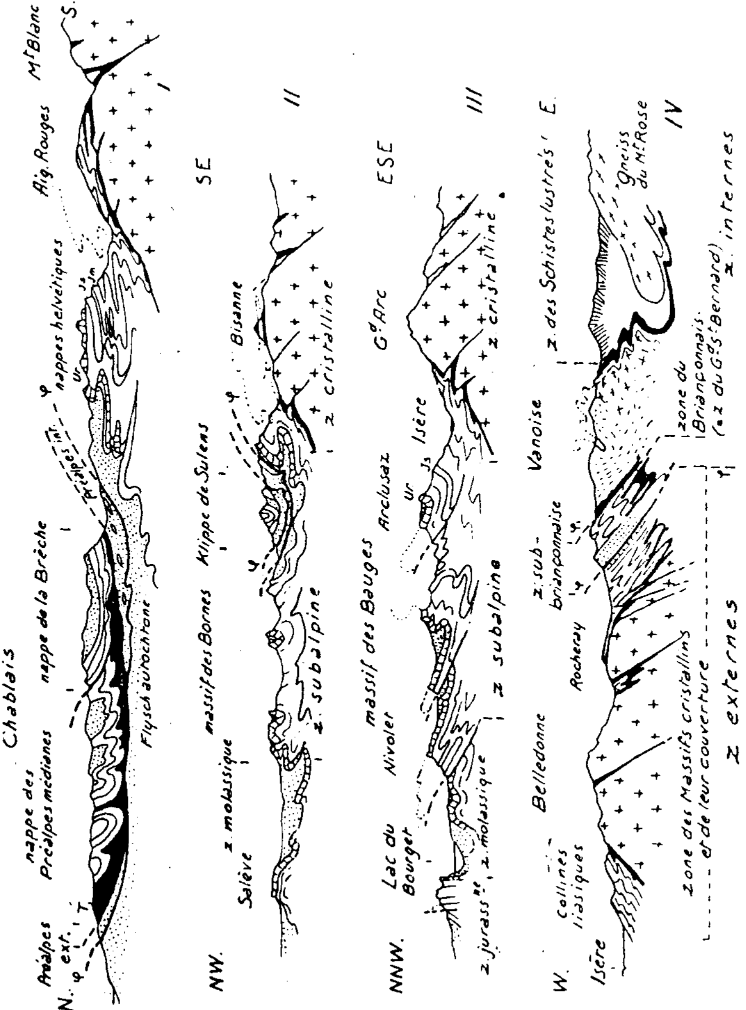
نطاق الكتل المتبلورة الخارجية وغطاءها: (آآر Aar، مون بلان، إيغوي روج Aiguilles-Rouges، بيللدون Belledonne، بلفو Pelvoux، غراندروس Grandes-Rousses، ومركانتور Mercantour) وتضم العمود الفقري المتبلور، وهي

أجزاء من السلسلة الهيرسينية، اندمجت في الالتواء الألبي وغطاء سميك من لياس دوفيني مع ترياس ضئيل عند القاعدة.



شكل ١٩٧ ـ خارطة بنيوية لجبال الألب الفرنسية.

ويكون هذا النطاق، في السافوا وفي الدوفينه، منفصلاً عن النطاق السابق بواسطة **أخدود واسع تحت ألبي Sillon Subalpin**، تهيمن عليه من الغرب **الحافة تحت الألبية bord subalpin**.

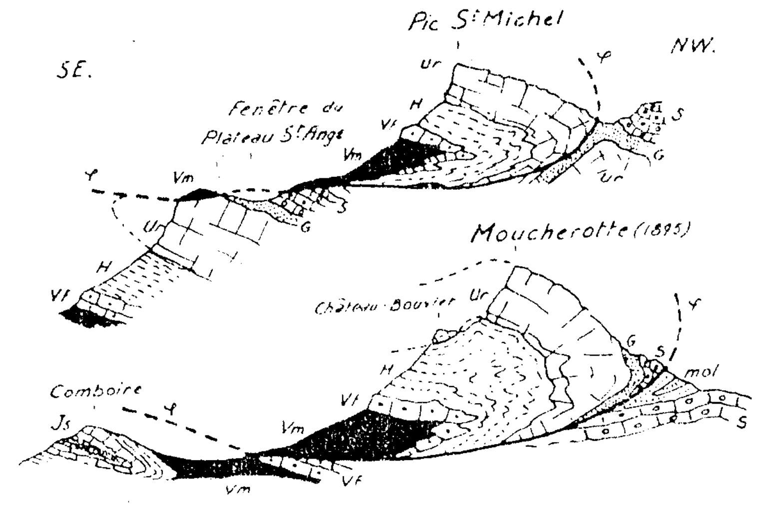


شكل ١٩٨ — زمرة مقاطع عبر جبال الألب الفرنسية تظهر توزع مختلف النطاقات. I، مقطع مار بالأغطية شبه الألبية لمنطقة chablais. II، مقطع يمر من كتلة Bornes والكليب تحت الألبي لمنطقة Sulens. III، مقطع يمر بكتلة Bauges. IV، مقطع وادي Arc (Maurienne) يظهر العلاقات بين النطاقات الخارجية والداخلية.

نطاق ما وراء الدوفينة Ultradauphinoise : وينتشر كثيراً في المنطقة الجنوبية

من بلفو Pelvoux (Puy de Manse) وإلى الشمال قليلاً حيث يؤلف منطقة إيغوي دارف Aiguilles d'Arves القديمة، ويتألف النطاق هذا من الصخور الثلاثية. وتحوي الأراضي الجوراسية والكريتاسية على سحنات بحرية عميقة بينما الثلاثي يكون بحالة فليش. ويتاخم هذا النطاق المنطقة الداخلية التي ينفصل عنها بواسطة التراكيب البيني الجبهي Pennique (شكل ١٩٨) (م. جينيو و ل. موريه).

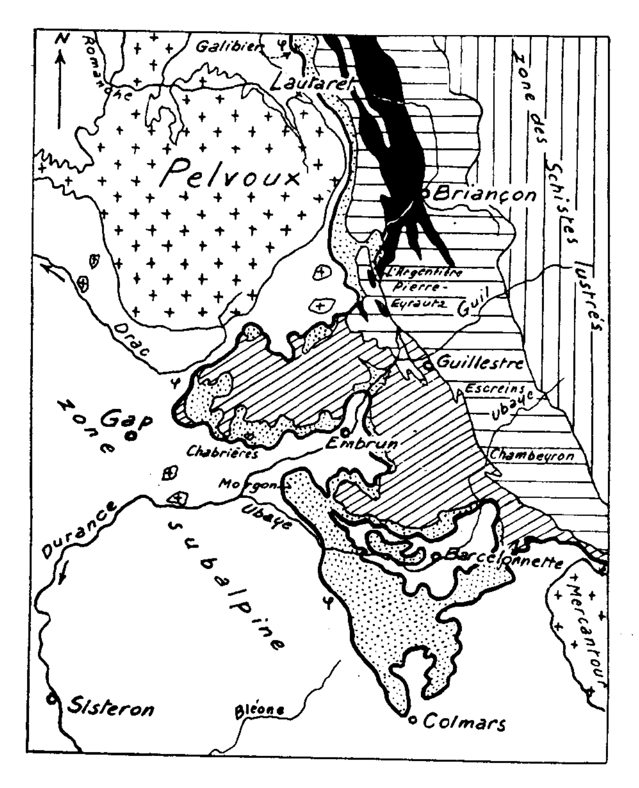
المنطقة الداخلية: وكانت مشغولة، في الأزمنة الثنائية، من الغرب للشرق بالمحدب الجبار البرياسوني géanticlinal briançonnais مع سلاسله وأخاديده sillons وبالحفرة الألبية الكبرى كما تشهد بذلك النطاقات التالية (البنّيد Pennides حسب ستاوب R.Staub).



شكل ١٩٩ ــ طيات نائمة مدفوعة من الحافة الشرقية لمنطقة فيركور نحو جنوب غرينوبل. Js، جوراسي أعلى. Vm، كلس ذو اسمنت ومارن فالانجيني. Vf، فونتانيل. H، هوتريفي. Ur، أورغوني. G، غولت Gault. S، سينوني. m، مولاس ميوسيني. l، اثر أسطح الطرد refoulement.

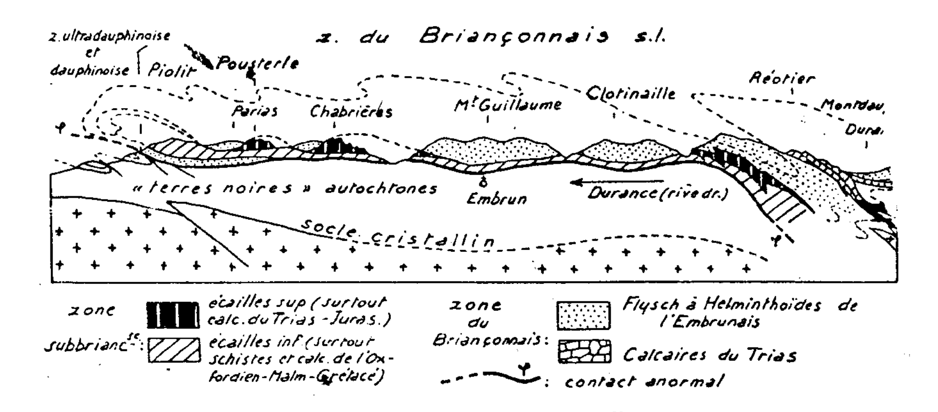
نطاق تحت البريانسوني: ويتسع كثيراً بين مركانتور Mercantour وبلفو Pelvoux (آمبرونيه، أوبايي Embrunais, Ubaye)، والتي تمر من خانق غاليبييه Galibier. وتقدم الأراضي الجوراسية والكريتاسية فيها سحنة بحرية عميقة وتكون قليلة السماكة، لأنها توضعات القاع في مقدمة الحفرة (م. جينيو و ل. موريه).

النطاق البريانسوني: ويضم شريطاً كبيراً محورياً فحمياً (تارانتيز، مورين Tarentaise, Maurienne) محفوفاً بأراضٍ ثنائية (ترياس سميك، جوراسي أوسط وأعلى، كريتاسي أعلى، نيريتية؛ أي قوقعية ساحلية، وكثيرة الثغرات في السلاسل الجبلية (الكورديللير). وتنتشر هذه الأراضي بكثرة في منطقة فانواز Vanoise (حيث تخضع إلى بداية استحالة) وخاصة في جنوب بريانسون Briançon (جبال بين بريانسون وفالواز Vallouise، كتل بيار ايروتز Pierre Eyrautz، اسكران d'Escreins، دو شابيرون de Chabeyron ... إلخ).



شكل ٢٠٠ ــ خارطة أغطية امبرونية ــ أوبايي Embrunais-Ubaye بين بلفو Pelvoux و مركانتور Mercantour. نطاقات خارجية: بالأبيض ــ جبال شبه ألبية، صلبان ــ كتل متبلورة. نطاقات داخلية: منقط ــ نطاق شبه بريانسوني. خطوط مائلة ــ منطقة الفليش في امبرونيه Embrunais. خطوط أفقية ــ صخور ثنائية للنطاق البريانسوني. أسود ــ فحمي النطاق المحوري في بريانسونّية Briançonnais. خطوط عمودية ــ نطاق الشيست اللماع lustrés أو البيمونتي.

نطاق البييمونت Piemont : كتلة غران سان برنار Grand Saint-Bernard ، دانبلانش Dent-Blanche ، غرانبارادي Grand Paradis ، ودامبان d'Ambin ... إلخ) وهو الجزء الأساسي من المقعر الأرضي الكبير الألبي أو الحفرة الكبرى الألبية ، التي تراكمت فيها سماكات ضخمة من رسوبات تحولت بالاستحالة إلى غنايس (الكتلة المتبلورة الداخلية) وإلى شيست لمّاع في الأقسام العليا . وتكثر هنا دفقات الصخور الخضراء (مون فيزو Mont-Viso و بيك روغو Pic Regaud ... إلخ) . وقد كانت هذه الحفرة ذاتها، ذات تضاريس عبارة عن محدبات جبارة (مثل سلسلة دانبلاش **Dent Blanche** وموندولان **Mont-Dolin** .



ونلاحظ في كل هذه النطاقات، أن الجهود الأوروجينية (المولدة للجبال) والقادمة من الجنوب ومن الشرق كانت عنيفة وأدت إلى انطلاق أغطية جرف . يبدو أن سعتها وعددها يزداد كلما اتجهنا باتجاه الشمال والتي كانت تتولد بعضها تلو بعض ، حسب الطراز المشار إليه ؛ أي الشراشيب festons[1] .

وهكذا فإن السلاسل تحت الألبية ، التي لا تقدم ، في القطاعات الواقعة إلى

---

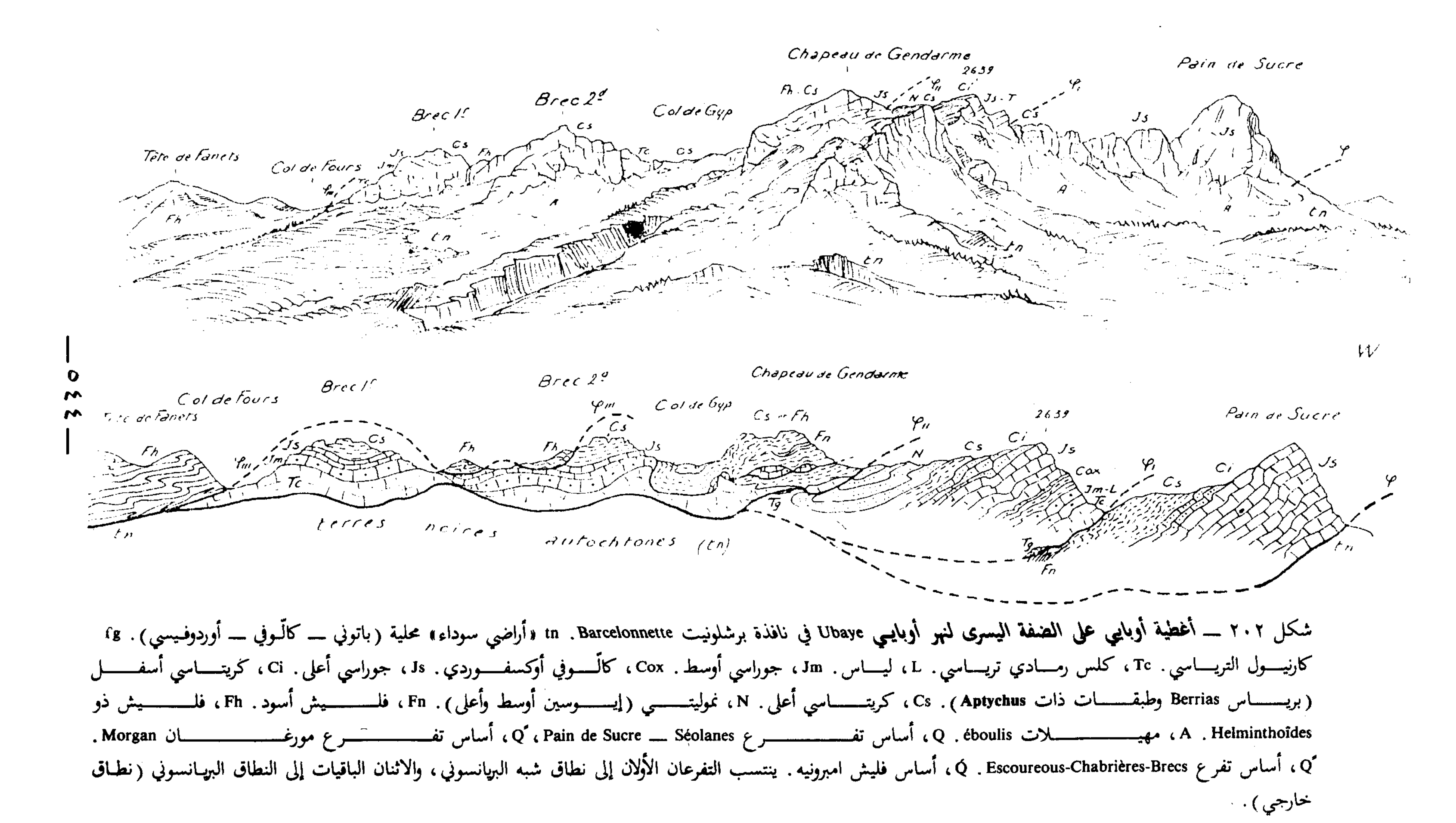
(١) لهذا فإن الطيات الفرنسية المطرودة من السلاسل تحت الألبية الدوفينية تتحدد في نطاقات خارجية جداً بالنسبة للتي تولدت فيها الأغطية السافوية والهلفيتية (السويسرية) الواقعة لأبعد من ذلك نحو الشمال ؛ أي هناك تناظر في البنية وليس استمراراً .

الجنوب من دينيه Digne ومن بوشين Bochaine سوى طيات صدعية أو حراشف écailles متواضعة نسبياً، تقدم بجوار غرينوبل أغطية جرف صغيرة حقيقية (جرف جبهي مطرود من منطقة موشروت Moucherotte، نافذة سانتانج Saint-Ange ونافذة لامور la Mure). (شكل ١٩٩) ولكن ابتداءً من آنسي Annecy تبـدأ **الأغطيـة الهلفيتية**(*) بالتفرد والتي تتخذ فيما وراء الحدود السويسرية اتساعـاً كبيراً (أغطيـة موركل آرافيس Morcles-Aravis، وديابلريه Diablerets، ويلدهـورن Wildhorn ... إلخ). ونجد في هذا القطاع أن كل غطاء الكتل المتبلورة سيشترك في الحركة، وحتى أكثر الأجزاء عمقاً من هذا الغشاء؛ أي الأجزاء التي تقابل النطاق الفرنسي لما وراء الدوفينيه (حيث لا تظهر سوى طيات صدعية كبرى) والتي تصبح، بذلك تحت اسم **غشاء ما وراء الهلفيتي**، أكثر الطيات الكبرى ارتفاعاً ضمن هذا البناء الجبلي العظيم.

إن التراكب البيـنّـي Pennique الجبهي، ذا الحافة الكثيرة الغرابة، يعتبر طبعاً حدثاً [٢] هاماً جداً يتبع بالتناوب جذور أو جبهات الأغشية، متغذية في معظمها من النطاق شبه البريانسوني. ومن وجهة النظر هذه فإن الزحف الكبير لأغشية امبرونيه Embrunais و أوبايـي Ubaye (شكـل ٢٠٠) المنـحصر بين مكسري مركانتـــور Mercantour وبلفو Pelvoux يعتبر متميزاً تماماً. وبعد أن تضاءلت الكتلة المجروفة إلى جذور شـرّحها الحت خلف هاتين الكتلتين المتبلورتين نجدها، على العكس، محفوظة في معظمها في المنخفض الذي يفصل بين الكتلتين المذكورتين.

(*) أو السويسرية لأن اسم سويسرا القديم هو هلفيتيا.

(٢) أو بالأصح، تتابعاً من حوادث تتلاصق في الاتجاه الطولاني.



شكل ٢٠٢ ـــ **أغطية أوبايي على الضفة اليسرى لنهر أوبايي** Ubaye في نافذة برشلونيت Barcelonnette. tn «أراضي سوداء» محلية (باتوني ـــ كالّوفي ـــ أوردوفيسي). Tg كارنيـــول التريـــاسي. Tc، كلس رمـــادي تريـــاسي. L، ليـــاس. Jm، جوراسي أوسط. Cox، كالّـــوفي أوكسفـــوردي. Js، جوراسي أعلى. Ci، كريتـــاسي أسفـــل (بريـــاس Berrias وطبقـــات ذات **Aptychus**). Cs، كريتـــاسي أعلى. N، نموليتـــي (إيـــوسين أوسط وأعلى). Fn، فلـــيش أسود. Fh، فلـــيش ذو Helminthoïdes. A، مهيـــلات éboulis. Q، أساس تفـــرع Séolanes ـــ Pain de Sucre، Q'، أساس تفـــرع مورغـــان Morgan. Q''، أساس تفرع Escoureous-Chabrières-Brecs. Q، أساس فليش امبرونيه. ينتسب التفرعان الأولان إلى نطاق شبه البريانسوني، والاثنان الباقيات إلى النطاق البريانسوني (نطاق خارجي).

ونجد هنا أحد أجمل مناطق الأغشية التي يمكن دراستها . ففوق الأراضي السوداء الجوراسية المحلية ، التي تنفصل بوساطة تماس شاذ رائع مع مزق الدفعة ، تتحدد الكتل المجروفة المتشكلة من تكدس ثلاث وحدات تصبح سحن الطبقات فيها بريانسونية تدريجياً من أسفل طبقة نحو أعلى طبقة (شكل ٢٠١ و ٢٠٣ ، III) ، ويتألف الغشاء(*) nappe الأسفل ذاته يتألف من حراشف متكدسة (كتل Piolit و Séolanes و Morgan) وغشاء أوسط (كتلتي Chabriéres و Escoureous) وغطاء علوي أو غطاء الفليش ذو مستحاثات الدودانيات Helminthoïdes . وهناك نافذتان ، وهما نافذة Embrun ونافذة Barcelonnette (شكل ٢٠٢) يسمحان برؤية القاعدة المحلية ، في قلب الكتلة المجروفة . وأخيراً فإن كل هذه الوحدات تأتي بنظام كي تنغرس على الحافة الخارجية لنطاق البريانسوني .

ولا تتأخر هذه الإكليلية feston ، في الشمال ، عن التضاؤل خلف كتلتي بلفو وبيللدون ينتهي في نطاق الجبس ذي الجلاميد الثنائية (الميزوزوئية) التي تحد باتجاه الغرب النطاق الفحمي البريانسوني لمنطقة مورين . ولكن يشاهد الجيولوجي في هذا القطاع ، على الضبط ، وتجاه بلدة سان ميشيل دومورين يشاهد ولادة إكليلية شبه بريانسوني جديد (شكل ١٩٨ ، IV) (تفرعات كتلة انكومبر Encombres وغراند مواندار Grand-Moendaz مع مفصلات جبهية رائعة) والتي ستعطي عند انتشارها التدريجي وحدة جديدة لم نذكر اسمها بعد والتي هي نطاق أغشية مقدمة الألبية Préalpines أو نطاق شابليه Chablais (شكل ١٩٨ ، I) .

وهذا النطاق المحروم من الجذور يقع في مقدمة الكتل الألبية الكبرى (مون بلان Mont-Blanc ... إلخ) (ومن ذلك جاء اسمه)[1] ، فهو إذن متضامن مع منطقة

(*) غطاء وغشاء بمعنى واحد وذلك مقابل nappe .

(١) إن عبارة مقدمة الألب « البريئالب » ليس لها دوماً نفس الاعتبار . فكل السلاسل شبه الألبية «Subalpines» شأن منطقة شابليه Chablais . تؤلف البريئالب من وجهة نظر الجغرافيين . لكن الكتل المجروفة لمنطقة شابليه وامتدادها باتجاه الشمال الشرقي هي البريئالب في المعنى الجيولوجي للكلمة . ولم يتحقق الاتفاق دوماً أيضاً فيما يتعلق بأصل هذه الأغشية البريئالبية (Bréche و Mèdianes) . وابتداءً من العالم آرغان ومن تلاه ، ظل الأصل البعيد هو المقبول ، وذلك خلال مدة طويلة ، فيقولون أن البريئالب جاءت لتنفرش على الحافة الشرقية لجبال ←

بريانسونيه. وهو يتشكل، بدوره، من تنضد جسيم لأغشية جرف اجتازت الكتل المتبلورة، في حين لم تكن هذه الكتل بعد تؤلف الحاجز المرتفع الذي نتأمله اليوم، كي تستقر فُوق المشارف avant-pays، وجـرّت معها أكثر الأغشية الهلفيتية ارتفاعاً (غطاء ما فوق الهلفيتي) التي جاءت لتمتطي المولاس البريئالبي (النطاق المولاسي السويسري).

والمقطع الذي يجتاز جبال الألب بين بحيرة ليمان ومون بلان ماراً بمدينة تونون Thonon يبين لنا بكل وضوح بنية الهيكل الألبي في هذا القطاع الذي كان، خلال الأزمنة التكتونية البطولية، مسرحاً لكثير من المناقشات المشـوّقة. وبما أن أغطية منطقة شابليه كانت منفصلة كلياً عن جذرها بفعل شدة التوتر والحت لذا يكون من الممكن رؤية قاعدتها من أية ناحية. وهكذا تمكن رؤيتها من على سفح بحيرة جنيف وهي ترقد فوق المولاس المحلي بواسطة وسادة مؤلفة من غطاء ماوراء الهلفيتي Ultrahelvétique المتصفح (جبال البريئالب الخارجية)، أما على الحافة الجذرية، فتكون هذه الأغشية جاثمة فوق الأغشية الهلفيتية، المصحوبة دوماً بحافة من مجموعة ماوراء الهلفيتي (البريئالب الداخلية). وفوق هذه الركيزة نجد الكتلة الرئيسية من جبال **البريئالب الوسيطة mèdianes**، المؤلفة من طبقات تذكّرنا سحنها بسحن البريانسوني، كما تكون هذه الكتلة المذكورة راقدة تحت غشاء **البريش و دوشابليه**، التي تحمل هذا الاسم بسبب السحن البريشية brèchiques التي تجتاح معظم الأراضي الجوراسية. وقد كانت تتميز بالماضي وحدة عليا تحمل اسم **الغشاء الريتي rhétique** (أو غشاء Simme)، ولكن قضية الغشاء تبدو حالياً مشكوكاً فيها كثيراً، كما أن مزقه تنتسب إلى الفليش الذي يغلف غشاء البريش، وذلك في منطقة جت Gets في السافوا العليا.

وهكذا نجد أن كتلة الشابليه هذه تتحدّد في سويسرا بمنطقة أوبرلاند Oberland المجاورة لمدينة برن حتى بحيرة تون Thoune التي لا نجد بعدها من الغشاء سوى مزق التغطية (نطاق بقايا جرف klippes). ونلاحظ الأمر نفسه باتجاه الجنوب حيث

الألب. غير أن الكثير من الجيولوجيين الفرنسيين كانوا أنصار نظرية الأصل الأقرب والبريانسوني. وهذا الرأي الأخير الذي يبدو هو المنتصر حالياً، ولكن نرى أن سعة الجرف ومداه يختلف من الواحد إلى الضعف حسبما نتبنى إحدى هاتين الفرضيتين.

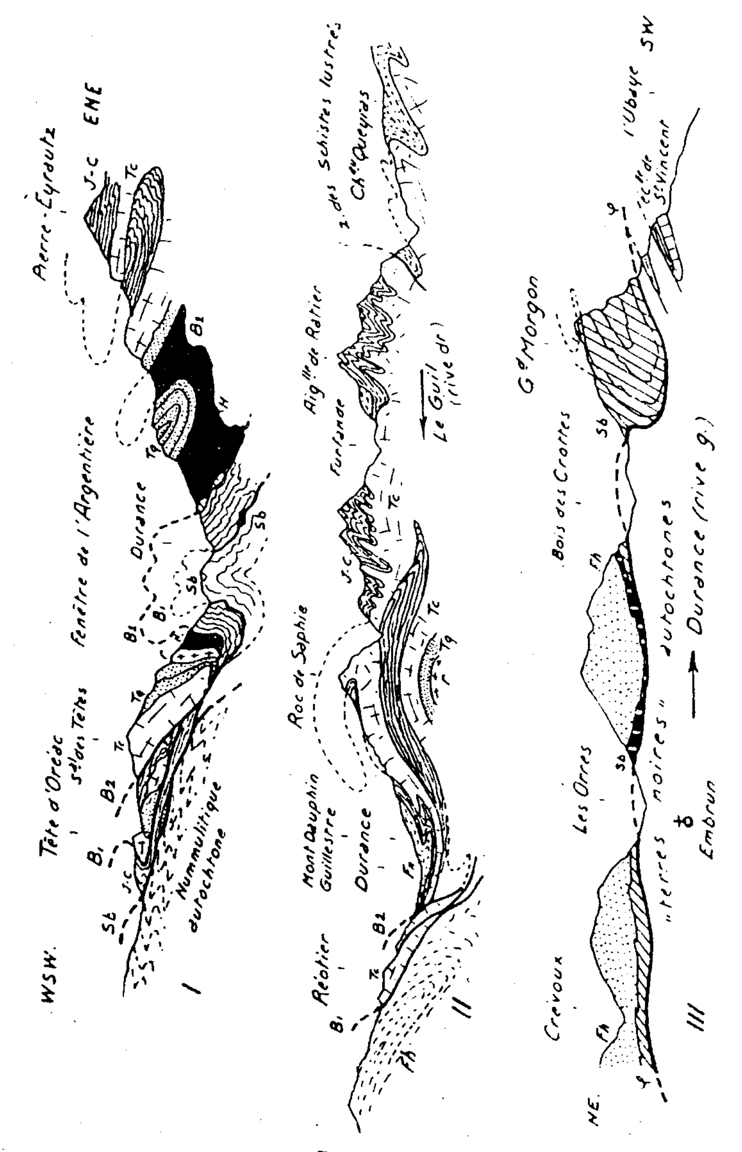
لا نجد فيما وراء نهر الآرف سوى شواهد تركها الحت فوق هضبة شاتيون Châtillon أو في وادي تون Thônes السنكليناني (بقايا جرف klippes منطقة Annes و Sulens) (شكل ١٩٨ ، II). وتسمح هذه الشواهد بربط اكليلية شابليه، من فوق كتلة بيللدون المتبلورة، بالاكليلية التي أشرنا إلى بدايتها، إلى الجنوب من ذلك، تجاه مدينة سان ميشيل دور مورين.

ولننتقل الآن نحو المناطق الألبية الداخلية. وسنرى أن جذور الأغشية تحت البريانسونية تكون بدورها مغطاة بوحدات جديدة متراكبة Chevauchantes تسمى **الأغشية البريانسونية** البحتة أو الأغشية البينية Penniques، والتي يتألف عنصرها الرئيسي في فرنسا من النطاق المحوري الفحمي. وإلى الجنوب من بريانسون يكون الغطاء الثانئي (الميزوزوئيك) لهذا النطاق الفحمي محفوظاً جيداً ويتشعب إلى ثلاثة أغشية جرف متنضدة (وتسمى الحراشف البريانسونية حسب ب. ترمييه) والتي يعطي الغطاء العلوي منه مقطعاً شهيراً في وادي غيل Guil (شكل ٢٠٣ ، II). وتؤلف تجعدات هذه الأغشية الجبال الواقعة بين بريانسون وفاللواز وجبال كتلة Pierre - Eyrautz، وكتلة Escreins وكتلة Chabeyron. وهناك شق تجاه مدينة Argentière في وادي دورانس يسمح بدراسة البنية فيه (شكل ٢٠٣ ، I).

وإلى الشمال من بريانسون، ولا سيما ابتداءً من خانق غاليبييه Galibier، يتمدد النطاق الفحمي من ناحية العرض، وتتحطم حافته الثنائية الغربية ثم تأتي مباشرة لتركب نطاق ما تحت البريانسوني على طول السطح الانقطاعي listrique مع جبس وجلاميد الدفع. أما من ناحية الشرق، فعلى العكس، يكون هذا الغطاء الثنائي محفوظاً، وهو الذي يؤلف كتلة فانواز Vanoise الكبرى حيث تصبح الاستحالة mètamorphisme محسوسة (١).

---

(١) ونجد في هذه الكتلة أن الفحمي Houiller العادي ينتقل تدريجياً نحو الشيست المتبلور في منطقة Vanoise-Mont-Pourri (G. de Mortillet. H. Lachat) (شكل ١٩٨ ، IV) في حين تظهر فلزات جديدة في الرسوبات الثنائية تصبح كلما تقدمنا نحو الشمال عبارة عن صخور شيستية لامعة.



شكل ٢٠٣ ــ الحراشف البريانسونية (أغشية غيل Guil ونافذة آرجنتيير Argentière).

I، حراشف بريانسونية في منطقة نافذة آرجنتيير.

II، أغشية الضفة اليمنى لوادي غيل Guil. H، فحمي، r، برمي. Tq، جبس وكارنيول وخاصة كوارتزيت ترياسية. Tc، صخور كلسية ترياسية رمادية. J-C، جوراسي وكريتاسي. Fh، فليش ذو دودانيات Helminthoïdes. Fn، فليش أسود. Sb، حراشف شبه بريانسونية. B1، حراشف منطقة البريانسوني الخارجية. (I و II حراشف ترميبه). B2، حراشف وأغشية منطقة البريانسوني الداخلية (III، حراشف ترميبه). III، أغشية منطقة امبرونيه Embrunais على الضفة اليسرى لنهر دورنس (الرموز والاصطلاحات نفسها في شكل ٢٠١).

وفيما وراء ذلك ؛ أي نحو الشمال ، يصبح كل شيء استحالياً وندخل في وحدة بينية Pennique كبرى تحت اسم **غشاء سان برنار الكبير**[1] التي هي امتداد للنطاق البريانسوني غير الاستحالي . وهذا الغشاء العائد لمنطقة البريانسوني ــ سان برنار الكبير ، يكون كما قلنا ذلك سابقاً ، مجال الكورديللير الألبي الكبير (شكل ٢٠٤ و ٣١٣) .

ونلاحظ أخيراً أن النطاق الاستحالي لمنطقة بيمونت Pièmont ، والمؤلف على الخصوص من نوى انتكلينالية ضخمة غنايسية، مغلّفة بمقعرات من شيست لامع lustrés ، يتشكل من غشاءين جديدين أحدهما عبارة عن غشاء قاعي لجبل مونروز Mont-Rose ومن غشاء كورديلليري لجبل دانبلانش Dent-Blanche . وبعد الصعود المحوري وتعرية نهر تيسّان Tessin التي تظهر

شكل ٢٠٤ — بنية جبال الألب في سويسرا الغربية. الأغشية البينة Penniques استناداً إلى المخطط التقليدي الذي رسمه آرغان. لقد قبلت هنا الفرضية البريانسونية عن أصل الأغشية البريالية، في حين أنه في الفرضيات التقليدية عند آرغان تعتبر هذه الأغشية من أصل أكثر بعداً بكثير وجاءت لتنغرس في نطاق كاناريز Canarèse .

(١) هذا وتوجد حتى في مقدمة هذا الغشاء الاستحالي في سان برنار تشعبات digitations صغيرة تتألف هي أيضاً من صخور شيستية متبلورة تشكل أغشية Simplon-Tessin (وهي من الأعلى الأسفل : Monte-Leone ، Lebendum ، Antigorio) وهي أغشية قاعية de fond (أي أغشية خارجة من قاع الحفر) وليست أغشية جبهية من التي تشكل السلاسل الكورديللير .

التشعّبات البينية السفلى نجد التشعبات العليا التي تكون معادلتها كما يلي من الناحية الايطالية :

Sesia-Lanzo (?)	Dent-Blanche (VI)
Suretta و Tambo	Mont-Rose (V)
غطاءي Mischabels	
Adula	Saint-Bernard (IV)
Tessin	Simplon (I, II, III)

ولكن هناك اتجاه حالياً لاعتبار مونروز Mont-Rose كنواة ميغماتية لغشاء سان برنار الكبير (غطاء الاكتينيت ectinites)، مما يحذف وجود قلنسة ميشابل Michabels . وهذه الوحدة الجديدة أو غشاء ميشابل يعتبر في هذه الحالة غشاءً منغرساً enracinée محلياً تقريباً، شأن كل الأغشية البينية Penniques الأخرى .

وإذا كانت الحافة الغربية لنطاق الشيست اللامع تبدو وكأنها تنتقل بشكل غير محسوس للنطاق البريانسوني في الجنوب، فإن هذه الحافة تكون في منطقة مورين Maurienne وبمنطقة تارانتيز Tarentaise جاثمة بشكل واضح فوق النطاق المذكور والتي تنفصل عنه بتدفقات أو طفحات extrevasions ترياسية هامة (جبس وكارنيول) .

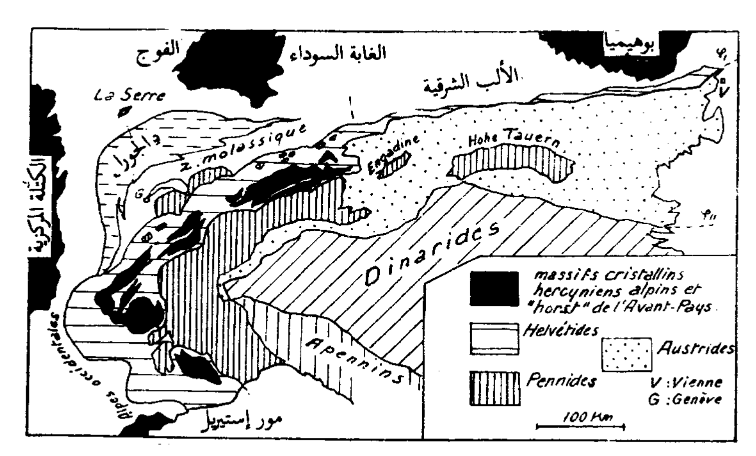
بنية جبال الألب الشرقية

يعتبر وادي الراين الأعلى كتخم طبيعي جيولوجي يفصل جبال الألب الغربية عن جبال الألب الشرقية . وفي كل هذه المنطقة، وبالواقع في (Rhaëticon و Prätigau)، نجد الأغشية البينية البريانسونية (Pennides) تتلاشى بالاتجاه تحت طبقات ذات سحنات مختلفة جداً تهيمن عليها في كل النواشز escarpements . وتنتسب هذه الطبقات بالفعل إلى جبال الألب الشرقية (ويسميها ستاوب R.Staub الأوستريد Austrides نسبة إلى النمسا) وتنتشر هذه الجبال باتساع باتجاه الشرق مع مشهد أكثر بساطة بكثير مما هو في أغشية البينية Pennides (شكل ٢٠٥) . ويمكن بالواقع أن

نلاحظ فيها طولانياً ثلاثة نطاقات متوازية: **جبال الألب الكلسية**(*) **الشمالية** (Wetterstein و Kaisergebierge) المتوجهة نحو النمسا وبافيرا، **وجبال الألب الوسطى المتبلورة** (أنغادين العليا أو الوادي الأعلى لنهر inn و Hohe Tauern) **وجبال الألب الكلسية الجنوبية**، المتجهة نحو ايطاليا. وبعد أن ظلت جبال الألب الشرقية خلال وقت طويل تعتبر كأنها تشكل سلسلة أولية تعرّى محورها المتبلور بفعل الحت فإن الكثير من الجيولوجيين يفسرون اليوم الجبال المذكورة على أنها تتألف من تكدس هائل من أغشية جرف جاءت لتتراكب ولتستر كل جبال الألب الغربية تقريباً (شكل ٢٠٦). ومنذئذ، لم تعد جبال أنغادين وجبال هوهه تاورن Hohe Tauern، التي تفصل جبال الألب الكلسية الشمالية والجنوبية، تنتسب مطلقاً إلى جبال الألب الشرقية، ولكنها تمثل أراضٍ من (غنايس، ميكاشيست، وشيست لامع) تخص الركيزة البينية Pennique (الأغشية الليبونتية lèpontiennes حسب الجيولوجيين النمساويين)؛ بحيث نكون أمام نافذتين جسيمتين محفورتين في جبال الألب الشرقية المتجعدة على شكل قبة تسمح بظهور الألب الغربية، ومتحددة على شكل نفق تحت الألب الشرقية. وإذا صح ذلك على هذا الشكل وقبلناه فسنلاحظ أن براهين الانجراف تكون واضحة تماماً (ب. ترمييه P.Termier).

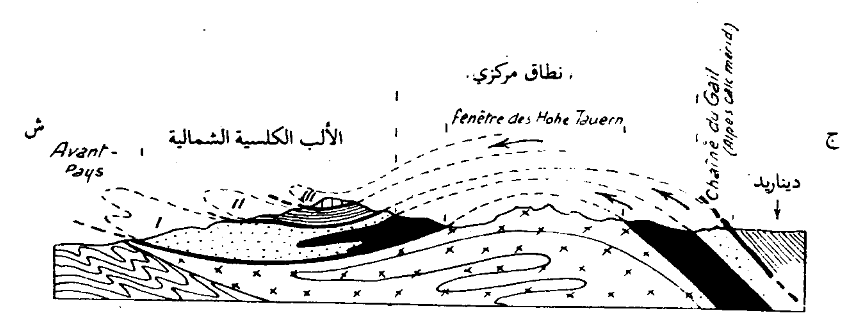
هذا وتمثل جبال الألب الكلسية الجنوبية، جزئياً، جذور الأغشية، المسماة الأغشية النمساوية الألبية، التي يؤلف تنضُّدها جبال الألب الكلسية الشمالية. ويقدَّر الانجراف هنا بأكثر من ١٥٠ كم، ونلاحظ بالتالي استفحالاً في بنية أغشية الانجراف، لأن لهذه الحادثات جذوراً داخلية أكثر، وأكثر بعداً من جذور الألب الشرقية. ونجد الجبال الأخيرة، المجرورة تحت كتلة الأغشية النمساوية الألبية، فضلاً عن أنها تعود للظهور في نوافذ الانغادين وفي منطقة تاورن Tauern، نجدها تواكب كل جبهة السلسلة (وتكون هنا عبارة عن مزق من السحنات الهلفيتية ومن السحنات البريئالبية) ابتداءً من نهر الراين حتى مدينة فيينا.

(*) لنتذكر أن كلمة الكلسية تقابل الجيرية في أفريقيا الشمالية، كما أن الكلس يدعى الشيد في فلسطين والأردن.



شكل ٢٠٥ ــ **مخطط بنيوي لجبال الألب الغربية والشرقية.** Q، الجبهة البينية. Q، جبهة الـ **Austrides** . **Q**، الحائة الألبية الدينارية.

كما أن وجود أراضٍ ذات صفات بريئالبية (مقدمات جبال الألب) واقعة بين أراضي الركيزة البينية وبين الأغشية المتنضدة والذي كان الحجة الرئيسية لرد أصول جبال البريئالب إلى نطاق بعيد وإلى تضامنها مع الألب الشرقية وإلى أنها تؤلف أكثر وحداتها انخفاضاً؛ أي وحدات الألب الشرقية. ومن المعروف الآن أن الاتفاق قد تحقق حالياً



شكل ٢٠٦ ــ **مقطع تمثيلي عبر جبال الألب الشرقية في فرضية تغطية الألب الشرقية (غطاء III,II,I) فوق الألب الغربية.** الصلبان: أغطية بينية، الأسود، أراضٍ من الحقب الأول تعود «للنطاق المركزي» (نقلاً عن اهليغ **Uhlig** بعد التعديل).

لردها إلى أصل شبه بريانسوني، أكثر تواضعاً، ولكن بالتالي أكثر صحة. ولكن إذا قبلنا هذه الفرضية، يجب علينا أيضاً قبول أن جبال الأوستريد Austrides كانت تتمدد باتجاه الغرب والجنوب الغربي كي تتصل بجبال البريئالب وتغطي بذلك القسم

الأعظم من المنطقة البينية Pénnides وإن الحت هو الذي أدى إلى زوالها من هذه المنطقة. وتجاه مصاعب كهذه يرى الكثير من الجيولوجيين حالياً أن الحدود الجيولوجية للراين الأعلى ليست حدوداً حتية وإلى أننا نشاهد في كل هذه المنطقة ولادة ما دعيناه إكليلية feston الأغشية.

وإلى الجنوب من ذلك تبدو الألب الشرقية محدودة بحادث كبير يفصلها عن جبال الألب الدينارية (Dinarides) والتي كثرت المناقشات حولها في هذه السنين الأخيرة، ولكن متابعة هذا الحادث على مسافة تزيد عن ٤٠٠ كم، ابتداءً من خانق آبريكا Aprica، قرب فاتلين Vateline، حتى منطقة أوبر دولّيش Ober Dollisch، في ستيريا Styrie، والمعروف تحت أسماء الحافة الألبية ـــ الدينارية أو خط غييل Gail الذي يفصل، حسب رأي ترمييه Termier، بين منطقتين مختلفتين جداً من ناحية السحنة ومن ناحية النمط. وهنا لا نجد طيات بل نجد أن نظاماً مائدياً هو الذي يهيمن. ويرى ترمييه Termier، أن لكتلة الديناريد هذه، المدفوعة نحو جبال الألب على طول خط غييل Gail، دوراً هاماً جداً بالماضي خلال فترة تولد الجبال الألبية. وبما أنها عبارة عن قطعة حقيقية من القشرة الأرضية مدفوعة كأنها **مدحلة ساحقة traîneau écraseur** (غشاء من الجنس الثاني) فوق الأراضي الألبية، وهذه المدحلة هي التي أدت إلى التواء الأراضي المذكورة وقسرت الأغشية على الانتشار نحو خارج السلسلة. ولكن هذه الأفكار ليست مقبولة من الجميع لأنه ربما لم يكن لخط غييل Gail الأهمية التي أعطاها له العالم ترمييه ومن جهة أخرى فإن سحن الدينارية ليست مختلفة جداً عن سحن بعض الأغشية النمساوية ـــ الألبية التي يجنح الكثير حالياً إلى جعل جذورها واقعة في الديناريد ذاتها [1].

VIII ـــ استحداث الالتواءات تجريبياً

ومنذ مطلع القرن التاسع عشر قام الكثير من التجريبيين أمثال (دوبريه

(١) في هذه الحالة يمكن تفسير صخور الشيست اللامعة الموجودة في «نوافذ» الانغادين وفي هوهه تاورن Hohe Tauern وكأنها نطاقات سنكلينالية.

Daubrée ، آ . فافـــر A.Favre ، بيلي ويللـــيس Bailey Willis ، ماكس لوهست Max Lohest ... إلخ) وحاولوا أن يعيدوا استحداث الالتواءات الملحوظة غالباً في الطبيعة ، والتي لا تسمح شدة بطء حركتها بمتابعة حركتها لإدراك الطريقة الحقيقية لتشكلها .

والمبدأ الرئيسي لهذه التجارب هو دائماً كما يلي : لما كان من المسلم به أن الحركات المماسية هي أصل الالتواءات ، يعمد حينئذ للاستعانة بقوة جانبية ، يمثلها لولب Vis يدفع ، ببطء ، مكبساً Piston في علبة القوة boîte de force ، على تعاقب من طبقات غير متجانسة مهيأة بعناية وخاضعة لضغط شديد على سطحها ، ضغط يمثل وزن الرسوبات المتنضدة .

ولكن هناك طبعاً اختلاف شديد في شرائط هذا النموذج المصغر عن الشرائط المتحققة في الطبيعة والنتائج الحاصلة لا يمكن قبولها إلّا مع التحفظ التام .

وعلى كل حال ، فإن هذه الطريقة التجريبية قد تساعد ، في بعض الحالات ، على فهم الحركات الأوروجينية إذ تساعد على إعادة تمثيل كل نماذج الطيات ، بما في ذلك الطيات النائمة وحتى أغشية الجرف .

وهكذا أمكن إظهار التأثير المتفوق للحركات المماسية خلال تكوين الالتواءات والبرهنة على أن شدة الطيات تتزايد مع العمق ، حتى ولو كانت مرونة الطبقات هناك أقل مما هي عليه عند السطح . والقاعدة العامة هي أن الطيات النائمة « والممطوطة » هي من النماذج العميقة ، في حين أن الطيات المستقيمة أو المائلة déjetés تصادف على الأرجح في النطاقات السطحية . كما أمكن استحداث فوالق التراكب أو على شكل أسافين منقلعة coins dèboîtés ولكن تحت حمولة خفيفة ، وهذا ما يبرهن على أن هذه الحادثات الخاصة تكون على الأصح على علاقة مع الالتواءات .

٢ ــ الفوالق (الصدوع)

إنها تخلّعات تنشأ خاصة من تأثير القوى الشاقولية والتي تظهر ، على العموم ،

في الفترة التي تتوقف فيها القوى المماسية عن العمل، وذلك عندما يحصل من تمطُّط يسمح للجاذبية أن تؤثر لوحدها على أواسط قناطر الليتوسفير. وقد يحصل هذا الهبوط دون انقطاع في حالة انثناء Flexures(*) أو **الطيات الوحيدة الميل** **Plis monoclinaux** فتظل الأقسام الخافسة على اتصال مع الأقسام المجاورة المحلية. ولا يمكن الكلام عن فالق أو صدع Faille إلّا عندما يحصل انقطاع.

وقد تجتمع الثنيات والفوالق وكثيراً ما نرى انثناءً ما ينتقل تدريجياً إلى حالة فالق بسبب مط، وترقّق خاصرة الاتصال بين الحجرتين Compartiments المتفاوتين بالمستوى.

I ـــ تعاريف

الفالق هو كسر يعتري الصخر، على درجة متفاوتة من ناحية العمق، ولكنه مصحوب دائماً بانتقال نسبي للجزئين المنفصلين، اللذين يطلق على حافتيهما المتلامستين عبارة **الشفتين** (شكل ٢٠٧). ويطلق على سعة تفاوت المستوى **الرمية** **rejet**، وتقاس هذه الرمية بانتقال طبقة معينة تتخذ كبداية، وقد تكون هذه الرمية على مقاييس مختلفة فتتراوح بين بضعة أمتار حتى بضع مئات من الأمتار.

وتطلق عبارة **نظارة** أو **ناظر** **regard** الصدع على جانب مستوى الفالق المتجه نحو الحجرة المنهارة.

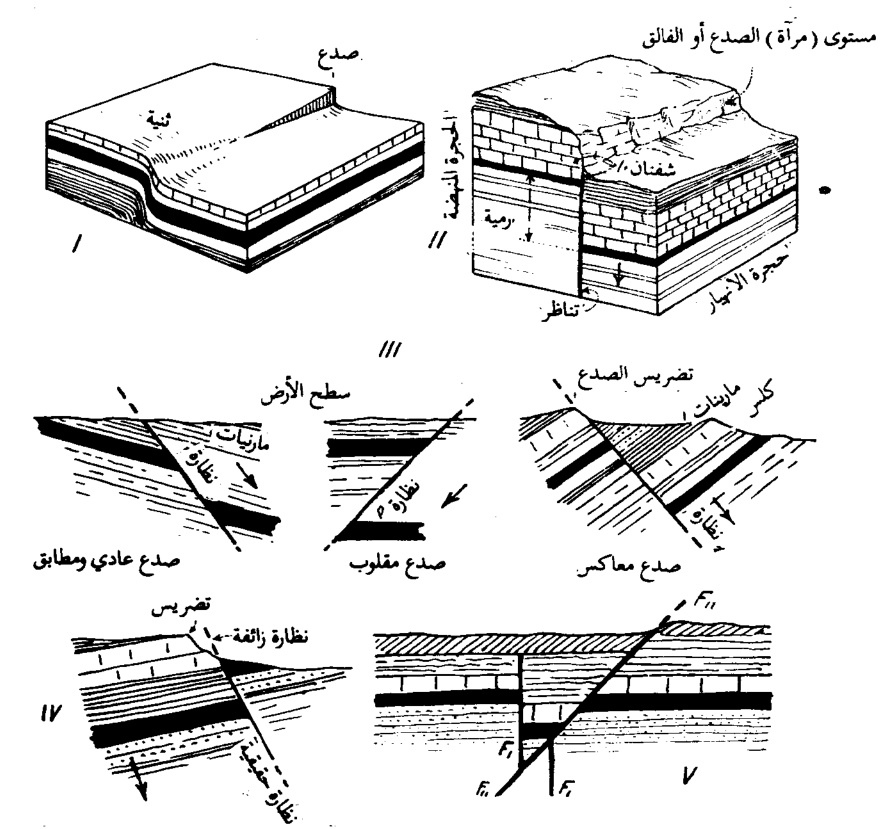
وقد يكون مستوى الفالق عمودياً أو مائلاً (الفوالق الشاقولية أو المائلة). فالفوالق المائلة هي أكثر الفوالق حدوثاً وحسبما تكون الحجرة المنهارة في السقف أو في الجدار بالنسبة لمستوى الفالق، نكون أمام **فالق عادي** أو **فالق مقلوب** **inverse** وفي هذه الحالة الأخيرة يشرف ناظر الفالق من علٍ على الحجرة المنهارة.

وعندما تكون الطبقات التي اعترتها الفوالق مائلة، يقال أن الفالق عادي أو

(*) وقد ترجمت لَيْ، ثنية.

مطابق إذا كانت خاصرة الفالق حاوية على ميل الطبقات ذاته، كما يقال **أن الفالق عكسي** إذا كانت هذه العناصر مائلة باتجاه معاكس.

ومن المفيد في بعض الحالات، وخاصة في أثناء أعمال استغلال المناجم، أن نستطيع العثور بسرعة على الطبقة التي أخفاها الفالق. ونطبق حينئذ **قاعدة شميدت**. ففي حالة فالق عادي، عندما ندرك الفالق من سقفه، يجب حينئذ البحث عن العرق المفقود في السقف؛ أي باتجاه الأعلى. وعلى العكس إذا بلغنا الفالق من ناحية جداره فيجب البحث عن العرق من جهة الجدار: «الفالق من جهة السقف فالعرق في السقف، والفالق من جهة الجدار فالعرق في الجدار» ولكن في حالة فالق مقلوب



شكل ٢٠٧ ــ **فوالق ولَيّ**. I، لَيّ تحول إلى فالق. II، فالق شاقولي ومختلف عناصره. III، فوالق مائلة (نماذج مختلفة). IV، ناظر حقيقي وكاذب بالنسبة لتضريس الفالق. V، عمر الفوالق: F، هو فالق أقدم من فالق F.

تصبح هذه القاعدة كما يلي : « فالق من جهة السقف ، فالعرق في الجدار ، وفالق من جهة الجدار ، فالعرق في السقف » .

وإذا كانت الفوالق العادية عبارة عن **فوالق خسف tassement** ناتجة عن ظواهر الانهيار أو الانفتال torsion ، فإن الفوالق المائلة وخاصة الفوالق المقلوبة تنتج في أغلب الأحيان عن انضغاطات جانبية حاصلة تحت حمولات ضعيفة ، ويقال الأمر نفسه عن فوالق التراكب التي سبق لنا الكلام عنها. أما فيما يتعلق **بالانفكاكات décrochements** فلنتذكر بأنها عبارة عن فوالق ذات رمية أفقية تدل على عدم كفاية المرونة في مجموعة ملتوية .

II ـــ ملاحظة الفوالق

لا تبدو الأمور ، في الطبيعة ، دوماً بصورة مبسطة كما سبق لنا أن ذكرنا والواقع لا نشعر في أغلب الأحيان بوجود فالق إلّا عندما تدخل طبقات متباينة جداً ، وفجأة في حالة تماس .

ويكون منظر مستوى الفالق متبدلاً حسب طبيعة الصخور : ففي صخور المارن والصخور المارنية الكلسية يكون هذا المستوى غالباً عسير الرؤية أو مصحوباً بحوادث مط وبنطاقات تهشيم غير منتظمة . أما في الصخور الكلسية فيكون على العموم واضحاً جداً ولامعاً بسبب الصقل الناجم عن الاحتكاك ، وحينئذ يكون مصحوباً بشخوط أو بتخديدات متوازية تشير إلى اتجاه الحركة (**مرآة الفالق**) . وقد تؤدي الحرارة المنطلقة حينئذ عن الاحتكاك ، وهذا في حالة الصخور الكلسية ، إلى تحول هذه الصخور إلى مرمر بفعل تجدد تبلور فحمات الكلس . وأخيراً يلاحظ وجود جلاميد متلاصقة على شكل بريش bréches تسمى **بريش الدعك Friction** تكون مصاحبة غالباً لمستويات الفوالق .

وفي أكثر الحالات لا تدل الفوالق عن نفسها بالطبغرافيا ، اللهم إلا إذا كانت حديثة جداً (رباعية أو حالية) لأن الدرجة البدائية قد سواها الحت . ولكن قد يصدف

أن يؤدي فالق ما إلى وجود درجة أو **تضريس** متفاوت في أهميته، وخاصة إذا كانت الحجرة التي ظلت ناتئة تحتوي على صخور قاسية كالغرانيت أو الصخور الكلسية. ولكن في هذه الحالة يجب الحذر من الخلط بين هذه الحافات أو تضاريس الفالق وبين الجروف falaises الناتجة عن الحت في زمرة من طبقات متكدسة بانتظام وحاوية على سافات كلسية قاسية. وللسبب نفسه لا ينطبق تضريس فالق ما بالضرورة مع ناظره أو نظارته (شكل ٢٠٧، IV).

وأخيراً يجب أن نلاحظ أن الوديان لا تكون ناتجة عن الفوالق إلا نادراً ولكنها تنهج بالأحرى في اتجاهات الطيات.

هذا وتكون الصدوع أحياناً مقر جريان مائي، تلك خاصة حالة الكثير من الينابيع الحارة المعدنية التي تتجه نحو السطح بوساطة الفوالق (مثل **الفوالق الحرارية** في منطقة Limagne) وهذا يفسر كون الفوالق القديمة مرصّعة أحياناً بمواد معدنية مختلفة (وغالباً تكون مؤلفة من فحمات الكلس وأحياناً من فلزات مفيدة). كما تكون الفوالق مملوءة أيضاً بصخور اندفاعية (وتسمى دايك أو جدّات dykes). ولكن عندما تكون الفوالق محشوة بمواد غضارية وبمنتجات التهشيم المختلفة، فعندئذ تلعب الفوالق بالأحرى دور سدود بالنسبة لجريان المياه الباطنية [1].

وتمثل الفوالق على الخارطة بخط غامق يحد أراضٍ مختلفة. والفالق الشاقولي يبدو مستقيماً، مما يتنافر مع المرتسم المتعرج لفالق مائل يتبدل مع الطبغرافيا. ولكن في كلتا الحالتين يكون الاستقلال كلياً بين خط الفالق وبين الخطوط الجيولوجية التي تحدد الطبقات.

III ــ تجمع الفوالق

قد تكون الفوالق منعزلة، ولكن تكون، في أغلب الأحيان، متجمعة في

(١) وتدعى حينئذ (العروق الرضيخية) «أو Clastic dikes حسب الجيولوجيين الأنكلو ــ سكسون». وبالنسبة لأسلوب الحشو ومختلف نماذج العروق الكلاستيكية... إلخ. انظر: ل. موريه. أعمال مختبر الجيولوجيا. غرينوبل المجلد ٢٥، ١٩٤٦، ص٥٣.

منظومات الفوالق أو ميادين الكسور champs de fractures (شكل ٣١١) بحيث يكون من العسير فيها التعرف على الفالق الرئيسي . وتكون هذه الفوالق متوازية نوعاً ما ، كما قد يكون تفاوت ارتفاعها في الاتجاه نفسه (فوالق على شكل درج أسلّم) أو في الاتجاه المعاكس (فوالق ذات رمية معوضة) (شكل ٢٠٨) .

ونلاحظ **حزمة الفوالق** (شكل ٢٠٩) عندما تكون أمثال هذه الفوالق المتجمعة والمتوازية بالبدء ، قد جنحت إلى التجمع في فالق وحيد بعد أن كانت متشعبة .

ففي أمريكا الشمالية تقدم منطقة الهضاب العليا (نموذج المنطقة المائدية) أمثلة رائعة عن حزم الفوالق التي يبلغ طولها بضع مئات من الكيلومترات ، مع تفاوتات عظيمة بالمستوى قد بلغ ٢٠٠٠م .

وأحياناً نجد منظومتين من حزم الفوالق تأتيان لتنضمان بعد تصالبهما ، وحينئذ نحصل على ما يسمى **بالشبكات المنضمة conjugués** (شكل ٢٠٩ ، c) وهو وضع يتحقق كثيراً في حقول كسور منطقة الهارز وفي شمال بلاد بوهيميا .

وأخيراً هناك حالات تكون الفوالق فيها مجتمعة بشكل تطبع فيه سيماء جغرافية خاصة للمنطقة التي تعتريها . تلك هي حالة **حفر الانهدام (غرابن)** (شكل ٢٠٩ ، رقم ٣ ، ٥ ، ٦) . ويقصد بهذه العبارة خفس أرضي واقع بين فالقين متوازيين أو بين منظومتين من الفوالق المتدرجة . فوادي نهر الراين ، بين مدينتي بال ومايانس ، هو عبارة عن حفرة انهدامية واسعة واقعة بين جبال الفوج والغابة السوداء . ويزيد تفاوت المستوى الأصلي هنا عن ٤٠٠٠م ، كما أن حركة الخفس التي ابتدأت بالحقب الثاني ، استمرت هنا خلال الحقب الثلاثي (لوجود سماكة كبيرة من الطبقات الأوليغوسينية) وحتى خلال الحقب الرابع (لوجود مصاطب مائلة فضلاً عن سماكة هائلة من اللحقيات التي خلفها نهر الراين التي تهبط إلى ما دون مستوى سطح البحر)[1] .

---

(١) أي أن الحركة كانت إذن بطيئة جداً لدرجة أنها لم تعكر نظام النهر ؛ أي أن اللحقيات كانت تتوضع تدريجياً كلما زاد تعمق الحفرة .

كما تعتبر مناطق ليمانية Limagnes في فرنسا (وادي اللوار، ونهر Allier) نماذج بديعة عن حفر الانهدام، كما يصح ذلك بالنسبة للبحر الميت والبحر الأحمر، فضلاً عن سلسلة عن البحيرات الكبرى في افريقيا الشرقية (كبحيرات نياسا، وتانغانيقا، ورودولف ... إلخ) حيث نجد منظومتين من الكسور تحدد حفرتين منهدمتين يتراوح عرضها بين ٣٠ و ٨٠كم، كما يتراوح عمقها بين بضع مئات و ٢٠٠٠م تقريباً (شكل ٢٠١)[1].



شكل ٢٠٨ — فوالق على شكل درج، وذات رمية معوضة.

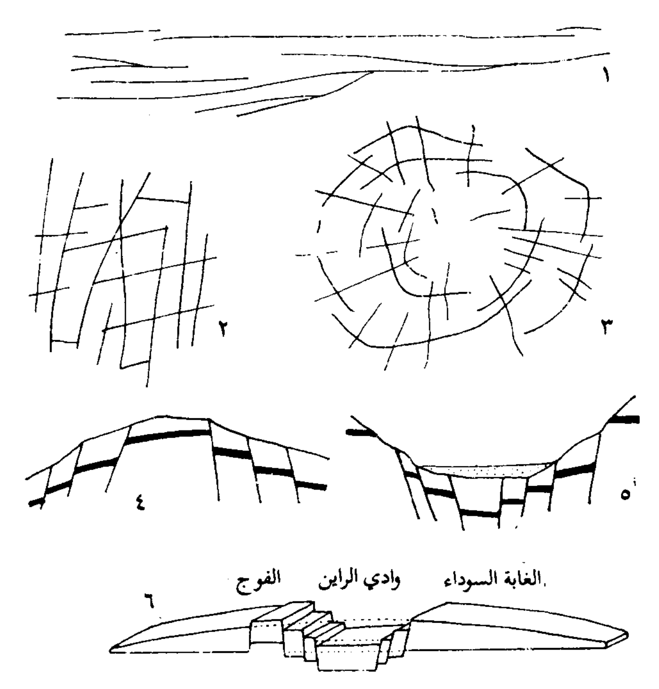
ونلاحظ دوماً صعود مقادير من الماغما (المهل) البركانية تواكب حالياً الصدوع الكبرى (مثل كتلة كيزرستول في وادي الراين، وبركنة منطقة ليمانيه، والانسياحات البازلتية الافريقية).

هذا وتنتصب بين حفر الانهدام مناطق منهضة، وتسمى **الهورستان horst** (شكل ٢٠٩، ٤)؛ فجبال الفوج والغابة السوداء هما عبارة عن هورستان، كما أن منطقة المورفان هي هورست كائن بين ليمانيه وبين وادي الرون.

هذا وقد تكون الفوالق التي تواكب الانهدامات غير مستقيمة كأن ترتصف على شكل دوائر موحدة المركز ومنضمة مع فوالق ذات اتجاه شعاعي: والانهدام الذي

(١) يمكن اعتبار هذه الانهدامات، شأن حفر ليمانية، كصدى ورد فعل للالتواءات الألبية. (ويمكن اعتبار الحفر الانهدامية الممتدة من منخفض العمق حتى غور البحر الميت والبحر الأحمر، عبارة عن ارتكاس للحركة الألبية التي أنتجت السلسلة الطوروسية) (المعرِّب).

ينتج عن هذا الوضع يتخذ حينئذ شكلاً دائرياً . ويعتبر حوض رييس Riess في منطقة صوآب الألمانية كحفرة انهدامية دائرية . وقد أمكن مقارنة أمثال هذه البنية مع المنحى الذي يتخذه جليد مستنقع متجمد تعرضت مياهه لانخفاض في مستواها .

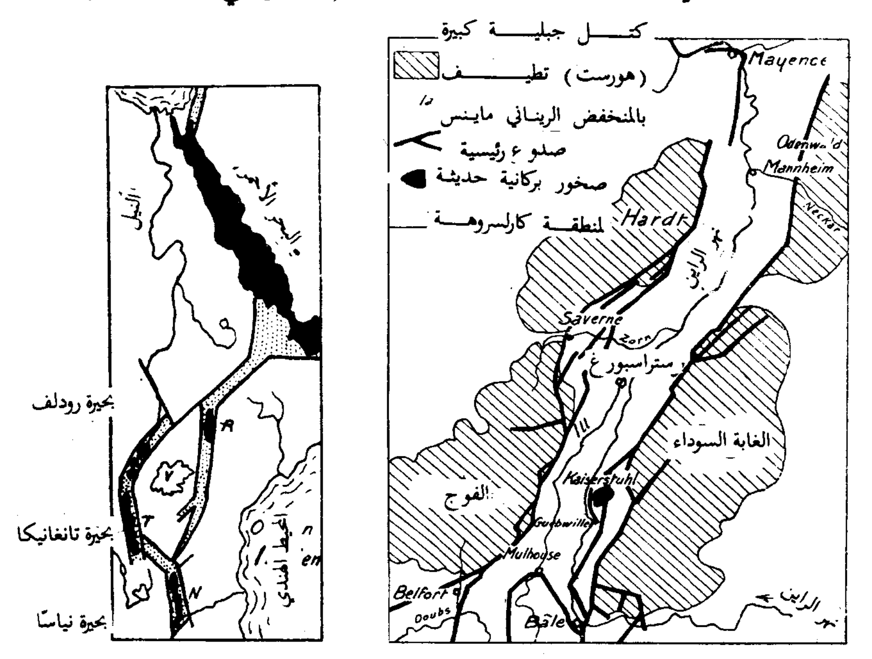


شكل ٢٠٩ ــ **تجمع الفوالق** . ١ ، حزم الفوالق . ٢ ، شبكات منضمة . ٣ ، حفرة انهدامية . ٤ ، هورست . ٥ ، حفرة انهدامية (مقطع) . ٦ ، الحفرة الانهدامية الألزاسية .

وقد نتجت الحفر الانهدامية حسب محور قبّة انهار وسط عقدها . وهكذا أمكن تفسير حفرة نهر الراين حسب نظرية إيلي بومون Beaumont . فقد كانت المنطقة بالأصل مؤلفة من طية وحيدة انكسرت خاصرتاها المؤلفتان من جبال الفوج والغابة السوداء تدريجياً بزمرة من الفوالق المستقيمة ذات الانحدار المتقابل ، ولم تستطع دعم القبة المحورية ، المحدودة بفالقين معكوسين ، مما أدى بها بالنهاية إلى الانهيار .

وأخيراً نلاحظ في بعض المناطق الجبلية ، حيث تكون الفوالق مجتمعة بشكل يؤدي إلى حجرات متطاولة ، أن هذه الفوالق كانت قد وجدت قبل الالتواء ، وأن هذه

الحجرات قد نجمت عن حادثات معقدة عرفت تحت اسم «الفوالق الالتوائية failles-plis»، كما في الجورا الفرنسية (ل. كلانجو L.Glangeaud) وتحت اسم «Cunei composti» في جبال الابنين الشمالية الايطالية (ميغليوريني Migliorini).



شكل ٢١٠ ــ **الحفر الانهدامية الافريقية**. يشير اللون الأسود إلى البحر الأحمر وللبحيرات الانهدامية، والمنقط يشير إلى الحفر. V، بحيرة فيكتوريا. T، بحيرة تانغانيقا. N، بحيرة نياسا. R، بحيرة رودولف.

شكل ٢١١ ــ **حفرة وادي الراين الانهدامية بين جبال الفوج والغابة السوداء**.

IV ــ تحديد عمر الفوالق

ويحدد عمرها بطرائق مماثلة للطرائق المستخدمة في تقدير عمر الالتواء. فيكون عمر فالق ما أحدث طبعاً من عمر الطبقات التي اعتراها، وأقدم من كل طبقة تغطية بتطبق غير متوافق (متنافر) وأحدث من الطبقات التي يتقاطع معها (شكل ٢٠٧، V). وأخيراً نلاحظ، في حقل كسور، أن الفالق الذي يحرك فالقاً آخر يكون بالضرورة أحدث منه. ويجب أن لا يغيب عن بالنا، كما رأينا في بحثنا عن

الطيات ، أن بعض الفوالق قد تشكلت خلال وقت طويل وقد استطاعت أن تتحرك في عصور مختلفة . والمثال الذي ذكرناه بمعرض حديثنا وادي الراين في الألزاس يؤيد ذلك .

٧ ــ الفوالق الحية والفوالق الحالية

إن الفوالق الحية هي التي تتحرك تحت أبصارنا والتي أمكن البرهنة على علاقاتها ، بفضل تحديد مكان المركز الأعلى épicentre ، مع زلزال ما . ففوالق كاليفورنيا الشهيرة (والتي كانت معظمها عبارة عن انفكاكات décrochements) هي عبارة عن فوالق حية .

ومن جهة أخرى ، أمكن مشاهدة ولادة الفوالق على أثر الزلازل . وهكذا ندرك أن فالق ميدوري ، في اليابان ، الذي يزيد طوله عن ١١٢ كم ، والذي يبلغ مدى رميته الوسطى المتر واحد ، وقد يصل أحياناً إلى ٢٠م ، قد نتج على أثر زلزال عام ١٨٩١ .

وسنرى فيما بعد أن المناطق المصدَّعة هي أيضاً مناطق اهتزازية زلزالية (مثل وادي الراين وايطاليا الجنوبية ... إلخ) وأنه كثيراً ماتتضافر مع وجود البراكين .

٣ ــ التشوهات الصميمية في الصخور خلال الحركات الأوروجينية (المولدة للجبال)

قد تتعرض البنية الصميمية intime للصخور إلى تبدل عميق خلال الحركات الأوروجينية ، وخلال حادثات البرم ، والتوتر أو الانضغاط ، التي تتعرض لها ، مما يؤدي لتشكل كسور عديدة موجهة تدعى **الفصمات** **diaclases** ، والتي تكون كثيرة بشكل خاص في الصخور القاسية .

ومن جهة أخرى ، فإن الصخور الطرية الخاضعة لقوى الانضغاط ، أو حتى إلى

نتيجة الخفس «الكبس» ذاتها، تتخذ شكل وريقات صغيرة متميزة، يسمى **الانفصام clivage الشيستي** أو **الشيستوية**. وفي درجة متقدمة من هذه العوامل، قد يصبح الصخر مرقّقاً laminée تماماً أو مهشماً، وحينئذ يتخذ بنية حطامية متطرفة cataclastique (مثل بريش الفرك، والبريش التكتوني، الميلونيت mylonites).

I ــ الفصمات

وتطلق هذه العبارة على الكسور أو مستويات الانقسام[1] التي تجتاز الصخور في اتجاهات منضمة conjuguées، وعادة في اتجاهات الفراغ[2] وتجزئها إلى مضلعات متوازية مختلفة الأبعاد، ومنتظمة نوعاً ما. ولكن إذا كان هناك انفصال disjonction، فلن يكون هناك، بالتالي، تفاوت في المستوى، وهذا مايميزها عن الفوالق (شكل ٢١٢، ١).

وتكون الفصمات في أغلب الأحيان فاغرة، لأنها تكون في الصخور القابلة للذوبان، كما في الصخور الكلسية، موسّعة بفعل تأثير المياه الجوية. كما أنها تساعد عند وجودها في الصخور الاندفاعية، كالغرانيت مثلاً، على التفسخ الكاؤليني وعلى تشكل كرات «كـلّات» boules.

ونلاحظ بين الفصمات التي تعتري الصخر أن هناك دائماً اتجاهاً رئيسياً بارزاً أكثر من سواه تكون فيه هذه الفصمات مرئية وواضحة جداً، فبعض الفصمات يمكن أن تلتبس علينا مع اتجاه أو إنحدار الطبقات إذا كانت هذه مائلة.

وتصادف الفصمات خاصة لدى الصخور الرسوبية ذات الحبات الدقيقة

---

(١) ويسميها عمال المقالع لصاقات Joints. وعبارة فصمة diaclase ابتدعها العالم دوبريه، كي تقابل عبارة Paraclase التي ترادف كلمة فالق أو صدع Faille.

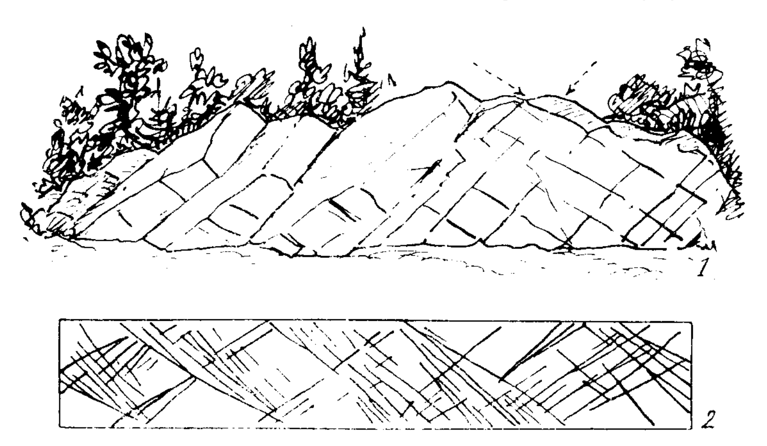
(٢) وهي الفصمات الرئيسية. إن وجود منظومات أخرى من الفصمات (الفصمات الثانوية) هي التي تؤدي لتجزؤ الصخر وتشكل البريش الميكانيكية.

كالصخور الكلسية والحوار... إلخ، كما تكثر في الصخور الفحمية وحتى في الحث «الغريه» وفي الصخور الاندفاعية.

وقد كان الاعتقاد سائداً خلال زمن طويل أن الفصمات كانت نتيجة نوع من تبلور، أو انكماش ناجم عن التجفف أو حادثة تبرد لا أكثر (فصمات الصخور الاندفاعية).

وبعد الأبحاث الجيولوجية الرائعة التي قام بها دوبريه Daubrée تـمّ الاتفاق على اعتبار الفصمات كنتيجة عامة لبرم torsion الطبقات. فعند برم شريحة من الزجاج بين فكي ملزمة استطاع العالم المذكور إنتاج منظومات من اللصاقات المنضمة مماثلة تماماً للفصمات الطبيعية (شكل ٢١٢، ٢).

ولنلاحظ أن الفصمات تعتري الصخور السطحية والصخور العميقة على حد سواء، وهذا مايميز، عند انعدام تفاوت في المستوى، الفصمات عن الانـفصام الشيستي الذي لا يصادف إلّا في الأعماق. أضف إلى ذلك أن الصخور المصابة بالفصمات لا تظهر وجهة عناصر الصخر تلك الوجهة التي نالها الصخر خلال جريان مرن يؤدي إلى الشيستوية.



شكل ٢١٢ ــ **الفصمات**: ١، انكشاف صخر غرانيتي متفصم (يشير السهمان المنقطان إلى الاتجاهين الرئيسيين للفصمات). ٢، انتاج الفصمات تجريبياً (تجربة كتلة زجاجية مبرومة حسب تجربة دوبريه Daubrée).

هذا وقد تمتلئ الفصمات فيما بعد ببعض المواد المعدنية (كالسيت، وكوارتز في أكثر الحالات) التي جاءت بها المياه الجوفية.

بيد أنه لا يجوز الخلط بين الفصمات وبين بعض الشقوق ذات المظهر المتعدد الأضلاع والتي تصادف في الصخور المارنية أو الغضارية والتي نتجت فعلاً عن تجفف ويبوسة الطبقات. وتمتلئ هذه الشقوق حينئذ، في الطبقات القديمة، براسب مضاف. وهكذا نجد في التشكلات اللاغونية الصحراوية العائدة للترياس أن مثل هذه الشقوق التي تشكلت فوق الرسوبات المغمورة بلاغونات ذاك العصر، امتلأت فيما بعد برمل نقله الريح وتحولت إلى شبكة أشرطة حُثية (حجر رملي) (شكل ١٦١، II).

إن الفصمات هي عبارة عن رد الفعل الأولي للصخور تجاه التأثيرات الأوروجينية. فقد أمكن ملاحظة تشكل فصمات دقيقة في جلمود من الصخر الكلسي متوجهة على شكل شبكة، كما أن وجود الماء المضغوط، والذي يملئ ثقوب صخر ما يساعد على ظهور شقوق كهذه.

ولكن بما أن الكالسيت المنحل يتخثر فوراً في هذه الشقوق حينما يكون هذا الضغط على أقصاه فإن الصخر الكلسي يستطيع بذلك أن يخضع إلى تشوهات خفيفة وبطيئة جداً دون أن يتكسر.

ومن وجهة نظر عملية فإن الفصمات تساعد إلى حد كبير عملية اقتلاع الصخور من المقالع، وكذلك حفر الأنفاق، والأروقة في باطن الأرض فضلاً عن أن هذه الفصمات تكون في كثير من الأحيان عبارة عن مجاري نشيطة للمياه. وأخيراً فإن وجود شخوط على مستوى الفصمة يستطيع أن يرشدنا إلى اتجاه الدفع الأوروجيني.

II ـــ الانفصام clivage الشيستي

إن الانفصام الشيستي (مرادفاته: انفصام حجر الاردواز، شقوقية،

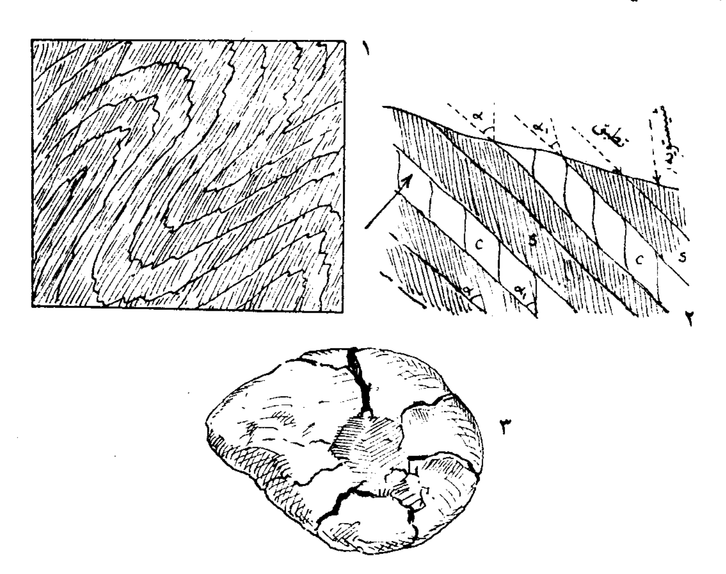
Slaty-cleavage لدى العلماء الانكليز، و **transversale Schieferung** لدى العلماء الألمان) خاصية تملكها بعض الصخور، في الانقسام إلى وريقات رقيقة، متوازية نوعاً ما، ولكنها كافية لإيجاد زاوية مختلفة المقياس مع مستويات التطبق. ويصادف الانفصام لدى الصخور الرسوبية الغضارية أو المارنية التي سبق لها أن خضعت إلى قوى التوائية عنيفة، ويظهر بكل وضوح في المناطق السطحية حيث تكون هذه الصخور معرضة للفساد. أما في الصخر السليم العميق فإن الانفصام لا يظهر إلا بالسهولة المتفاوتة لإمكانية تشطير الصخر المذكور إلى وريقات (شكل ٢١٣).

هذا ويكون من العسير أحياناً تمييز الشيستوية عن الطبقية وكثيراً ما يتم خلط الأولى مع الثانية، مما قد يقود إلى أخطاء جسيمة (شكل ٢١٣، ١). وعلى العموم تكون الشيستوية أكثر وضوحاً عند السطح من الطبقية التي لا يمكن أن تظهر بجلاء إلّا إذا وجدت طبقات أكثر قساوة (كوجود ساف كلسي ضمن مجموعة مارنية) أو من طبيعة ليتولوجية مختلفة (كوجود ساف «طبيقة» الحث «الصخر الرملي» أو من رصيص «غونغلوميرا»).

وتكون الشيستوية أكثر انتشاراً في مفصّلات الطيات منها على خواصرها ويمكن أن نلاحظ أن اتجاهها العام يكون دائماً موازياً لاتجاه الالتواء العام في المنطقة. وهكذا يمكن أن نستنتج من ذلك أن الالتواءات والشيستوية ليست أكثر من ظاهرة لنفس القوة الواحدة. ويكون اتجاه الشيستوية وحيداً على العموم؛ وعلى كل عندما لا يكون الصخر متجانساً (كالصخور الكلسية المؤلفة من طبقات متناوبة مارنية ومارنية كلسية أكثر قساوة) فإن الشيستوية تتراءى بشكل مغاير: إذ تصنع مع التطبق زاوية أكبر في السافات الكلسية منها في السافات المارنية. وإذا نظرنا إليها، عن كثب، فيمكن القول أن الانفصام هو **انفصام جريان** **d'écoulement** في السافات المارنية، **وانفصام متكسر** cassant في الصخور الكلسية، الأكثر قساوة (شكل ٢١٣، ٢).

ومن جهة أخرى، فإن الصخور الشيستية تحوي بعض الصفات التي يجدر الإشارة إليها. وهكذا فإن الفلزات الرضيخية calstiques المتورقة phylliteux تكون أحياناً متوجهة في وجهة الانفصام (ويسميه الانكليز **انفصام الجريان** **flow**

cleavage) ، كما تظهر المستحاثات ذاتها فيها مرقّقة ، ممطوطة ، ومجزأة في الاتجاه نفسه ، مما يشهد على حدوث مط وجريان المادة ، في وقت تال للترسب ، في اتجاه معين هو بالطبع اتجاه متعامد مع اتجاه القوة . كما تكون الناقلية الحرورية أيضاً أكثر أهمية في اتجاه الانفصام . وتعطي دراسة الشيستوية إذن دلائل عن وجهة الدفع والانضغاط .



شكل ٢١٣ ــ **الشيستوية**. ١ ، انفصام شيستي : الشيستوية مائلة على الطبقية ، لاحظ انتفاخ وانتفاش الطبقات في نطاقات الانعطاف . ٢ ، انكسار réfraction الشيستوية في طبقات متناوبة كلسية ومارنية . تكون زاوية الشيستوية أكبر في الكلس (á) (انفصام متكسر) (١) منها في المارن (a) (انفصام جريان) . ويشير السهم إلى نظام التنضد العادي للطبقات . ٣ ، حصباء كلسية مسحوقة في اللحقيات القديمة قبل الجمودية في سان فون (رون) .

أضف إلى ذلك أن ملاحظة على الأرض تُظهر أن الانفصام الشيستي لم يستطع أن يتشكل إلّا في الصخور الخاضعة ، لدن الالتواء ، لحمولة جسيمة متمثلة في وزن طبقات الغطاء . ويمكن أن نستنتج من ذلك أن الشيستوية هي ظاهرة لم تستطع أن تحدث إلّا في العمق لأن مرونة الطبقات تزداد طبعاً في هذا الاتجاه (ب . فورمارييه)[1] .

(١) نحن نعرف كل الفائدة التي جناها هذا الجيولوجي من أجل تقدير ثخانة طبقات الحمولة Surcharge التي اختفت حالياً والتي وجدت بالماضي فوق تعاقب من طبقات إعتراها الانفصام الشيستوي .

ففي سلسلة جبلية ما، تكون الصخور التي تشكلت خاصة في الأجزاء المحورية من الحفر هي التي تحمل هذه الصفة بينما تكون صخور المشارف avant-pays أو المناطق الهامشية للحفر fosses محرومة منها. وقد أمكن بالاستناد إلى الطريقة التجريبية إنتاج كل خصائص الانفصام الشيستي وذلك بإخضاع غضار غير متطبق إلى ضغوط قوية. وكانت المادة تجري في اتجاه عمودي كما تشكلت مستويات انفصال في هذا الاتجاه. وهكذا نفهم أن الشيستوية استطاعت أيضاً أن تظهر في بعض الحالات تحت تأثير الخفس لوحده الناجم عن الصخور المتنضدة فوق بعضها البعض. وبهذه الطريقة يمكننا تفسير التورق المتوازي مع الطبقية التي تصادف في بعض الصخور المارنية الكلسية. وعندما يكون الصخر المتكدس غير متجانس، كالرصيص «البودينغ» مثلاً، فإن الحصباء المتلاصقة تتشقق وتستطيع أن تدهس بعضها البعض (مثلاً حصباء ناجلفوه Nagelfluh المهشمة في جبال الألب السويسرية، أو حتى اللحقيات الرباعية القديمة في سان فون (رون) (شكل ٢١٣، ٣)[١].

وتظهر عبارة صخور **الشيست الأردوازية أو الأردواز** فقط على الصخور التي يمكن تشطيرها إلى صفيحات رقيقة ومقاومة. وأفضل أنواع الأردواز هي التي يحصل عليها من صخور الشيست القديمة الغضارية التي عملت الاستحالة الحرارية الأرضية فيها على دمج تأثيراتها مع استحالة الانفصام الشيستي. وصخور الأردواز الجيدة هي التي يجب أن تحوي من جهة أخرى على انفصام صقيل دون خشونة، ويمكن ثقبها بسهولة وكتيمة. كما يكون وجود فحمات الكلس فيها والبيريت ضاراً (لأن صخور الأردواز الكلسية تجنح للبياض مع تقادم الزمن بينما تظل صخور الأردواز الغضارية

---

(١) لقد أشير إلى وجود مثل هذه الحصباء galets في اللحقيات القديمة وفي المورينات الفورمية في ضواحي جنيف. وبما أن ضغوطاً تعادل ١٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ كغم في السنتيمتر المربع تكون ضرورية للحصول تجريبياً على مثل هذه الحصباء يجب علينا، هنا أيضاً، كما هو الحال في فحم الليغنيت المتورق في الرباعي الألبي، أن ندخل في حسابنا ثقل الجموديات القديمة والقوى النشيطة التي نجمت عن حركاتها (دراسات كاروزي، وجاييه في تقرير جمعية الفيزياء والتاريخ الطبيعي في جنيف. عدد كانون ثاني وآذار ١٩٤٧).

ومن جهة أخرى رأينا سابقاً أن الحادثات التكتونية تستطيع أن تؤدي إلى نشوء نماذج خاصة من عروق تدعى العروق الرضيخية Filons clastiques.

السيليسية قاتمة اللون) . وأفضل أنواع الأردواز في فرنسا هي التي تقتلع من منطقة الاردين (Fumay) التي تعتبر كامبرية ، وأردواز منطقة آنجو Anjou ومايين Mayenne التي تنسب للحقب الأول أيضاً .

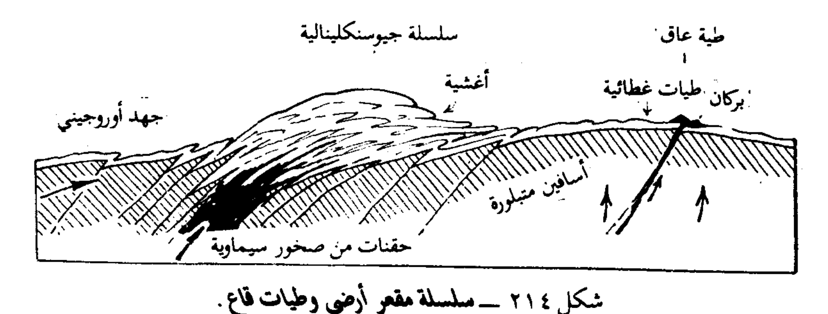
الفصل الثاني

التكتونيك العام ومنشأ الجبال

١ ــ القوانين الكبرى لتشكل السلاسل الجبلية

I ــ سلاسل المقعرات الأرضية وطيات القاع

نميز عادة نموذجين رئيسيين للسلاسل الجبلية: سلاسل المقعرات الأرضية وطيات القاع.



شكل ٢١٤ ــ سلسلة مقعر أرضي وطيات قاع.

سلاسل المقعرات الأرضية géosynclinales: هي التي تنجم عن انضغاط حفر الترسب الكبرى بفعل حركات تماسية، والتي دعيناها المقعرات الأرضية والتي

تراكمت فيها خلال حقب طويلة ثخانات كبيرة من **رسوبات بحرية عميقة bathyaux** (١٤٠٠م في الأبالاش ٥٠٠٠م في هيمالايا، ٣٠٠٠م في الألب)[1]. ويكون توافق المظاهر البحرية العميقة مع المناطق الملتوية هو قاعدة عامة، بحيث أمكن القول أن «السلاسل الجبلية تتشكل دوماً فوق موقع المقعرات الأرضية» وأن اتجاه الالتواء يكاد يكون تقريباً في نفس اتجاه المقعر الأرضي الأصلي.

ولكن استناداً إلى نظريات آرغان E.Argand، يعتقد حالياً بأنه توجد سلاسل جبلية ذات أصل مختلف، دعاها الجيولوجي المذكور **طيات القاع plise de fond** (شكل ٢١٤). فطيات القاع هي حركات تعتري البنية التحتية للقارات. وهكذا نعتبر المجنات أو التروس[*] boucliers الكبرى المؤلفة من أراضٍ قديمة (آركية، وقبل كامبرية) والمستورة، بتنافر discordanse، بطبقات قليلة التشوه، كطيات قاع. ونكون هنا بمعرض طيات قاع ذات قطر انحنائي كبير (مثلاً الطيات الهيرسينية في غربي افريقيا). ولكن عندما تتشكل طيات القاع على حساب مواد أقل صلادة من هذه الأراضي المتصلِّبة بشدة، تتولد طيات حقيقية جيدة الانتظام مع كل الأنواع الموصوفة في الفصل السابق. وهكذا نعتبر جبال البيرينيه وسلسلة الأطلس المراكشي (الأطلس الكبير) كطيات قاع.

وعن هذا يصدر مفهومان هامان:

١ً ـــ يمكن اعتبار طيات القاع كرد فعل للحركات التماسية التي تبقى لوحدها في الأصل. ففي حين الانضغاط الأقصى على مقعر أرض ما، فإن مشارف المنطقة avant-pays تتحدب بتأثير الجهد وتعطي معقداً من طيات قاع يؤدي، كما تؤدي موجة قاع بحرية، إلى نهوض قارة برمتها (شكل ٢١٤). وتأتي اندفاعات بركانية (بركانية ـــ بلوتونية) كي تكمل السيناريو (انظر بعد قليل).

---

(١) بيد أن الثخانة الكلية لرسوبات كل السحن Faciès هي بالطبع أكبر بكثير إذ تبلغ ١٤٠٠٠م في الآبالاش (كامبري ـــ برمي) وأكثر من ١٢٠٠٠م في هيمالايا (كامبري ـــ بليوسين) ... إلخ.

(★) لقد ترجمت كلمة shield أو bouclier بعبارة درع وفي ذلك جهل عظيم بمدلول الكلمة.

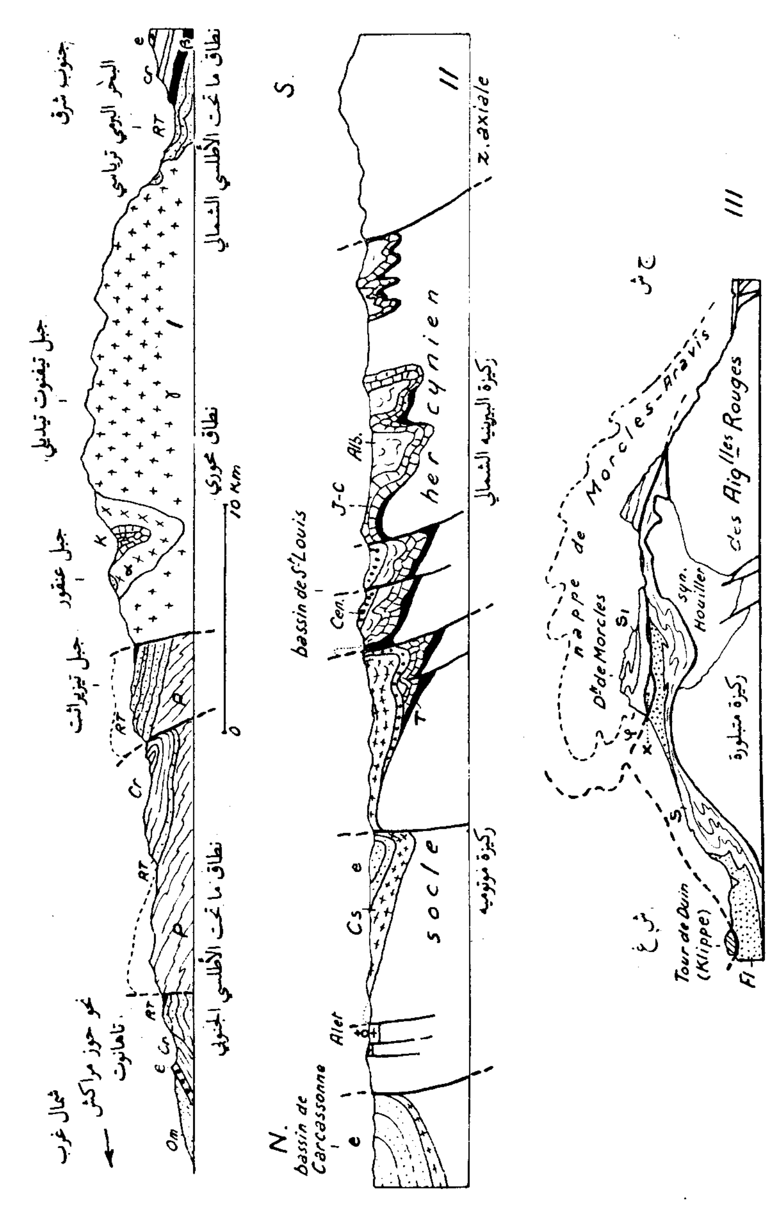
٢ً ــ إن المواد الجديدة، التي لم تلتو بعد، لا تستجيب للجهود التكتونيكية بنفس الطريقة التي تتصرف بها مواد قديمة سبق لها أن بلغت حالة اتزانية في خلال الالتواءات السابقة. فالأولى تعطي طيات جيدة التشكل (تكتونيك **مرن**) بينما تتكسر الثانية دون أن تلتوي ولا تنتج سوى كسرات على شكل أسافين (تكتونيك **متكسر**) يكون أحياناً متراكباً (الأغطية المتكسرة حسب آرغان Argand).

ولكن التكتونيك المرن والتكتونيك المتكسر قد يتمازجا عندما تكون الصخور القديمة العميقة، وهذه حالة كثيرة الحدوث، قد اندمجت في التواء المقعر الأرضي (كحال الكتل المتبلورة الهيرسينية في المنظومة الألبية). وحينئذ تتهشم الركيزة القديمة على شكل حراشف أو على شكل أسافين، في حين أن الغطاء المرن يتواءم بشكل متفاوت فوق هذه الركيزة المتخلعة بحيث يجنح إلى تبني الشكل العام فيلتوي أو يصاب بالفوالق.

وأحياناً تحصل انفصالات décollements عند مستوى أساس الغطاء، مما يسهل بذلك تجعده على شكل **طيات جلدية** épidermiques أو **طيات غطائية** de couverture(*).

وهكذا نجد أن في البيرينيه (شكل ٢١٥، II)، وهي سلسلة قاع حقيقية، أن الركيزة الصلدة، المؤلفة من غنايس محقون بغرانيت مندمج مع طبقات من الحقب الأول وملتوية في الحقب الهيرسيني، وقد تجزأت بتأثير الحركات الجديدة في نهاية الكريتاسي والحقب الثالث، إلى عدد من القناطر القبابية Voussoirs. وقد استمرت هذه الحركات في الغطاء، والذي، بعد أن انقرص pincée بين القناطر على شكل مقعرات مسحوقة écrasés وملتوية أو مقذوفة في مقدمة الحجرات الخارجية القصوى، انفصل عند مستوى المارن الترياسي وأعطى تموجات مطرودة أحياناً لمسافة بضعة كيلومترات (مثلاً طرد قمة بوغاراش Pic de Bugarach).

(*) أي طيات تعتري الغطاء الرسوبي دون أن تشترك معه صخور الركيزة أو الترس، أو بعبارة أخرى هي طيات لا نجد فيها صخوراً قديمة من استحالية أو متبلورة كالطيات التدمرية أو جبال حمرين بالعراق أو طيات الأطلس الأوسط والأطلس الصحراوي في المغرب العربي.



شكل ٢١٥ ــ **مقاطع ثلاثة توضح نماذج السلاسل الجبلية**. ١، الأطلس الأعلى (γ، غرانيت. C، آنديزيت كامبري. K، كامبري. P، من الدور الأول غير معين العمر وربما كان كاربونيفيرياً في معظمه. RT، برموترياس. B، مسكوبة من الدوليريت. Cr، كريتاسي. e، إيوسين. Om، أوليغوميوسين (عن موريه L.Moret).

II، جبال البيرنيه. (T، ترياس، j-C، جوراسي كريتاسي. Alb، آلبيان. Cen، سينوماني Cs، كريتاسي أعلى. e، ثلاثي) (عن كاستيراس M. Castéras).

وسنجد تكتونيكاً مماثلاً، رغم أنه أقل عنفاً، في الأطلس الكبير المراكشي وخاصة في القسم المدعو أطلس مراكش (شكل ٢١٥، II).

أما فيما يخص جبال الألب فإن ركيزة القاع المتبلورة، المؤلفة من الكتل الهيرسينية، فقد تهشمت فيها على شكل أسافين مرصوصة ومشحوذة. ولكن الطرد refoulement كان هنا على درجة من الشدة بحيث أن الغطاء جرف معه عند قاعدته «نِشارة» أو «شظايا» مقتلعة من نهاية هذه الأسافين: تلك هي الشرائح المتبلورة أو «دخان الكتل المتبلورة» حسب تعبير لوجون M.Lugeon، وتكون واضحة جداً في كتلة جنغفراو Jungfrau، وكتلة مون بلان، وكتلة بلفو Pelvoux (شكل ٢١٥، III).

II ـــ اتجاه الدفع في سلسلة جبلية

يكون اتجاه الدفع، في سلسلة جبلية ناشئة عن مقعر أرضي، على العموم ثابتاً ولا يظهر إلّا في وجهة واحدة. فكل الطيات وكل أغشية الجرف تنسكب وتتكدس في هذه الوجهة وفوق منطقة غير ملتوية أو قليلة الالتواء التي تؤلف ما يمكن تسميته **مشارف البلاد** **avant-pays**. إن مشارف البلاد هذه تبدو إذن كأنها تغطس تحت السلسلة الجبلية التي يكون سيماؤها على العموم مقوساً. وهكذا تنسكب جبال الألب على المنطقة المولاسية وعلى السهل السويسري، كما اندفعت جبال الكربات فوق السهل الروسي.

وقد يحدث أن نجد، في مجموعة ملتوية، طيات تميل محلياً في اتجاه معاكس للاتجاه العام للدفع، وفي هذه الحالة نكون بمعرض **طيات راجعة** **plis de retour** ناجمة عن ظاهرات **تقلنس** **encapuchonnement** الطيات العليا، مما يؤدي إلى طيات ثانوية

III، جبال الألب (S، زمرة رسوبية لمنطقة إيغويروج Aiguilles Rouges، S، رسوبات غشاء منطقة موركل آرافيس Morcles Aravis، Q، تماس غير عادي. X، شريحة متبلورة في قاعدة غشاء Morcles، Fl، فليش) (عن لوجون M.Lugeon).

replis في الخاصرة المستقيمة لطية تابعة . وهكذا يمكن تفسير الطية الراجعة في ميشابل Michabel وفي فالزافارانش Valsavaranche في الأغشية البينية السويسرية ، والمروحة البريانسونية في الألب الفرنسية .

وعلى كل حال لا يجوز أن نمنح أهمية مفرطة لاتجاه تدفق الطيات وأن نستنبط منه قانوناً عاماً . وهكذا نجد في سلاسل ما قبل الألب الجنوبية (ديوا و بارونّي Diois et Baronnies) أن الطيات تكون تارة مسكوبة نحو الشمال ، وتارة نحو الجنوب ، وتارة أخرى نحو الشرق[1] .

III ــ تعقيد الالتواء في سلسلة جبلية

لا يكون الالتواء ، الذي تنتج عنه سلسلة جبلية ، بسيطاً بمعنى أنه توجد دائماً عدة مراحل من الالتواءات المتعاقبة التي تظهر للعيان بظاهرات عدم التوافق الطبقي (التنافر) والمصحوبة بثغرات ترسبية .

وهكذا نلاحظ ، بالنسبة لجبال الألب ، في النطاق الخارجي منها التنافرات التالية :

١ً ــ تنافر الفحمي Houiller فوق صخور الشيست المتبلورة في الكتل المتبلورة الخارجية .

٢ً ــ تنافر الغطاء الترياسي ــ اللياسي فوق المجموع المتبلور ــ الفحمي .

٣ً ــ تنافر السينوني فوق الجوراسي ــ الكريتاسي (التواءات ما قبل السينوني لمنطقة ديفولي Dévoluy) .

---

(١) يعرف التكتونيكيون أن اتجاه انسكاب طية ما يتعلق بـ :

١ً ــ بوجهة الدفع وبنقطة انطباقها . ٢ً ــ بالحركات التفاضلية التي تحصل في مجموعة طبقية تشتمل على مركّبات مارنية وكلسية متناوبة (حالة سلاسل ما قبل الألب الجنوبية) . ٣ً ــ بوجود ركائز صلدة عميقة ينهمر نحوها الغطاء الرسوبي المتحرك .

٤ً ـــ تنافر الثلاثي (التموليتي) فوق الطبقات السابقة (التـواءات ماقبـل اللوتيسي، المسماة اللارامية Laramiens).

٥ً ـــ تنافر الميوسين فوق التموليتي.

ويجب أن نضيف إلى ذلك، بالنسبة للنطاق الخارجي، كل التنافرات التي أعقبت حركات السلسلة البريانسونية والتي تصحبها ثغرات متفاوتة الأهمية، خلال اللياسي، عند قاعدة الجوراسي الأوسط والجوراسي الأعلى وخلال الكريتاسي الأسفل.

ونلاحظ في البيرينيه، وهذا كيلا نتكلم إلّا عن الحركات المولدة للمنظومة الألبية، مايلي:

١ً ـــ تنافراً كبيراً عند قاعدة السينوماني (البريش الحاوية على البترول لمنطقة سانغـودان Saint-Gaudens) الـذي ينـم عن أول وأهـم مرحلـة التوائيـة في الزمـن الكريتاسي.

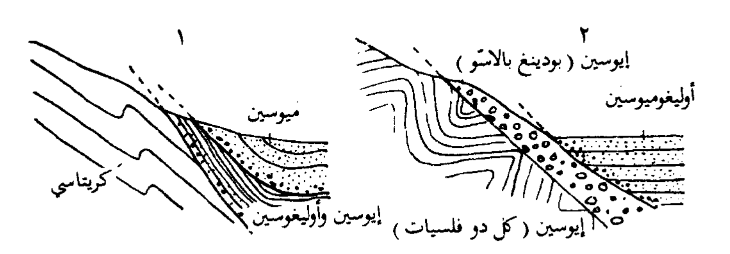
فهناك ترسب سميك من سحنة الفليش (هنا كريتاسي أعلى) يعقب تلك المرحلة الالتوائية ويملئ الحفرة السينومانية وكذلك مقدمة الحفرة في شمال البيرينيه (مع سلاسله الكورديلليرية).

٢ً ـــ حوالي آخر الإيوسين حدثت رجة جديدة أدت إلى زعزعة السلسلة التي انتصبت نهائياً (الالتواءات البيرينية البحتة). وجاء الحت المنتعش كي يكدس أنقاض هذه السلسلة (بودينغ Palassou) بتنافر فوق الفليش والتموليتي. وتراكمت الطيات الجديدة فوق مشارف البلاد التي التـوت بدورهـا كرد فعـل (التـواءات الحوض الآكيتاني).

٣ً ـــ وأخيراً نتج عن الحت الأوليغوسيني ـــ الميوسيني والبليوسيني توضع صخور المشبك والمولاس على حافة السلسلة واحتفظت هذه الرسوبـات بأفقـيتها الأصلية، ذلك لأن المنطقة لم تتعرض لأي تحريك منذ ذلك العصر.

وبالطبع قد يتغير اتجاه الطيات حسب وجهة الجهد الأوروجيني. فإذا ظل هذا الجهد ثابتاً تقريباً خلال تولّـد الجبال فإن الطيات تظل متوازية وقد تتعرض الطيات

القديمة ذاتها لبعض الالتواءات التالية. ولكن إذا كان اتجاه الدفع الجديد مائلاً بالنسبة للطيات القديمة، فإن الطيات الناتجة تأتي لتتصالب في أكثر الأحيان مع الطيات السابقة مع أنها قد تختلط بها محلياً، وتجنح جبهات المحدبات النائمة والأغشية إلى التمدد في مقعرات الزمرة السابقة.



شكل ٢١٦ ــ **عمر الالتواءات البيرينية ــ الألبية.** ١، في الألب: نلاحظ أن أواخر الالتواءات هي تالية للميوسين. ٢، بينما تكون الطيات أوليغوسينية في جبال البيرينيه.

وقد سمحت دراسة هذه الاتجاهات، المتضامنة مع دراسة التنافرات، بالتأكد من وجود **سلاسل جبلية قديمة** تعاقبت على كرتنا الأرضية والتي سبق لنا الكلام عنها.

إذن لم يستطع مفهوم **عمر سلسلة جبلية** أن يظهر للوجود إلّا بعد عدد كبير من الملاحظات ولكن العمر الأخير لسلسلة ما هو عمر أحدث طبقة ملتوية تدخل في تركيبها (شكل ٢١٦). وهكذا نجد في جبال الألب أن الميوسين (الذي يكون أحياناً متنافراً فوق الأوليغوسين) يكون ملتوياً، اذن يعود عمر السلسلة لآخر الدور الثالث وأواخر الحركات الهامة تعتبر تالية للمولاس. أما في البيرينيه، فعلى العكس، نجد أن الميوسين غير ملتوٍ مطلقاً ويتكئ المولاس على شكل طبقات أفقية فوق الأراضي الثلاثية السابقة (إيوسين)؛ أي أن جبال البيرينيه سابقة للميوسين؛ أي أنها إذن أقدم عمراً من جبال الألب وتتحد الكتلتان بواسطة نطاق طيات البروفانس المعقدة، التي يكون التوجه والانسكاب فيها غير واضحين وحيث تلقفت أواخر الحركات الألبية الطيات البيرينية تلك الحركات التي اعترت الأراضي المولاسية تدريجياً.

ولكن جبال الألب والبيرينيه تؤلف جزءاً من المجموعة الألبية الكبرى ذاتها التي

انتصبت في آخر العصر الثالث والتي تمتد بالفعل لأبعد من مناطق أوروبا الغربية وذلك بواسطة جبال الكربات والقوقاز وهيمالايا .

IV ــ تكوين وتطور سلاسل الجبال

يستنتج من كل ماتقدم بأنه من الممكن متابعة التطور الطبقي والتكتوني لسلسلة جبلية ما في الزمان وابتداءً من عصر بعيد جداً أحياناً . وهكذا ننتقل من التكتونيك التحليلي أو المتوقف إلى التكتونيك المتحرك ، وبما أن هذه الدراسة تجعلنا نشاهد ولادة الجبال وأوائل نبضات الحركات المولدة للجبال ، فإن هذا التكتونيك سيكون بالأحرى **التكتونيك الجنيني** **embryo-tectonique** .

والتكتونيك الجنيني هذا هو الذي يلعب الدور الرئيسي في توزع سحن **faciès** حوض الترسب في حين أن التكتونيك الاحتدامي **Paroxysmale** سيستخدم بالأحرى ، وذلك عن طريق دراسة الخطوط الكبرى للانقطاع التكتونيكي ، في تأريخ السلاسل وبتحديد طابعها الهندسي .

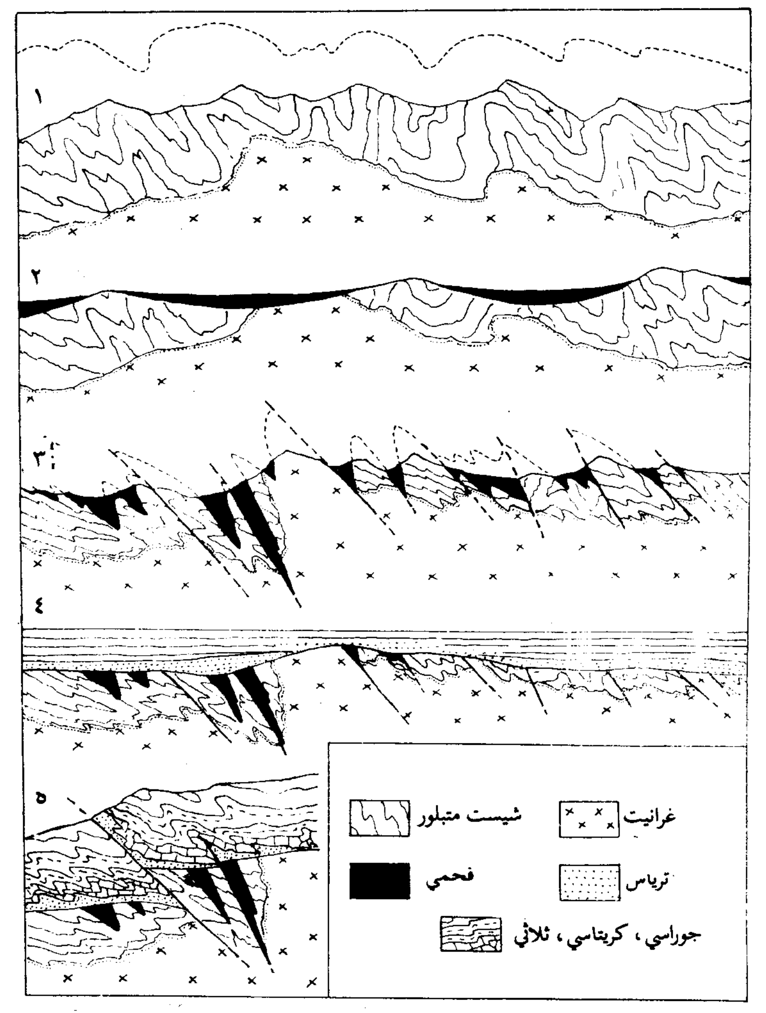
تطبيق على السلسلة الألبية [1]

بالرغم من المقعر الأرضي الرومي[2] (الميزوجي أو التيتيس عند الجيولوجيين) التي ستبنى على حسابه جبال الألب ، كان قد تشكل منذ الديفوني بين الترسين القاريين القطبي الشمالي والقطبي الجنوبي (التواءات كاليدونية) والذي سبق له أن

(١) نرجو السماح لنا هنا بأن نتخذ ، كموضوع أساسي للوصف الذي نقوم به ، تكوين جبال الألب الفرنسية ، كما عرضناها في قصر الاكتشاف خلال المعرض العالمي في عام ١٩٣٧ (انظر أعمال المخبر الجيولوجي في غرينوبل الحادي عشر ١٩٣٨) .

(٢) نسبة إلى بحر الروم أي البحر الأبيض المتوسط .

عمل كمولّد للسلسلة الجبلية خلال الكاربونيفير (التواءات هيرسينية) (شكل ٢١٧) فلا يمكننا أبداً الكلام عن مقعر أرضي ألبي قبل مطلع العصر الثاني.



شكل ٢١٧ ـــ **تاريخ الالتواءات الهيرسينية في السلسلة الألبية.** ١، الطور السابق للفحمي. ٢، حت وتوضّع الفحمي. ٣، طور ما بعد الفحمي. ٤، تسوية شبه سهلية برمية، سابقة للترياسي، توضع طبقات الغطاء (ترياس ـــ جوراسي ... إلخ). ٥، التواءات ألبية.

ولم يبدأ تاريخ المنطقة الألبية، بالأحرى بالظهور من الظل إلا ابتداءً من الفحمي Houiller. وكل الرسوبات السابقة للفحمي كانت فيه شديدة الاستحالة

ومتحولة إلى صخور شيستية متبلورة محقونة بصخور غرانيتية، من عمر مجهول، والتي كانت بنيتها مماثلة لبنية صخور كتلة الماسيف سنترال الفرنسية القديمة، فهي مثل هذه تمثل بقايا السلسلة الهيرسينية القديمة التي سحجها الحت قبل الفحمي والتي لا يعرف تاريخها إلّا بشكل ناقص (شكل ٢١٧، ١)؛ أي نلاحظ أنه في آخر الزمن الأول لم تكن سلسلة الألب، كما نفهمها اليوم، موجودة أبداً. والمنطقة، التي براها الحت حتى القسم المتبلور، كانت حينئذ عبارة عن قارة مستوية نوعاً ما ومغطاة بنبات بهيج ومنثورة بمستنقعات ضحلة تكونت فيها الصخور الفحمية المتنوعة (شكل ٢١٧، ٢).

وقد أعقب الدور الفحمي البحيري دور طويل صحراوي وبركاني هو البرمي. ثم حدث استئناف للحركات الهيرسينية التي أدّت إلى تجدد شباب «تصابي» المنطقة التي ستصبح منطقة الكتل المتبلورة الخارجية والتي ستنتصب فيها الرسوبات البرمية الفحمية (شكل ٢١٧، ٣). وختمت حقبة حتية أزمنة الحقب الأولية (شبه سهل ماقبل الترياسي)، وإذا كانت هناك بعض الأسافين السنكلينالية من الطبقات البرمو ــ الفحمية لاتزال محفوظة في الكتل المتبلورة الخارجية، فعلى العكس نلاحظ في النطاق الداخلي أن هذه الأراضي، التي تبدو شبه ملتوية، تظل برمتها تقريباً، كي تشكل فيه، فيما بعد؛ أي الالتواءات الألبية، النطاق الفحمي المحوري الكبير.

وفي مطلع الحقب ère الثاني تولد المقعر الأرضي الألبي، على أثر خفس عام للمنطقة التي انخفضت وتطاولت في اتجاه السلسلة الحالية على شكل حفرة واسعة اجتاحها البحر تدريجياً، وأخذت تتراكم الرواسب في هذا المقعر بصورة تكاد تكون مستمرة، ابتداءً من الترياس (شكل ٢١٨، ١) حتى زهاء نهاية النموليتي. وهكذا تدشن التاريخ الألبي الحقيقي بقدوم المياه البحرية.

أما في النطاق الخارجي فتكون هذه الرواسب متنافرة فوق الركيزة الأولية بينما نجد في النطاق الداخلي أن هذه الرواسب المذكورة تبدو متطبقة بتوافق مع الأراضي الوحيدة التي تظهر فيها؛ أي (البرمو الفحمي).

وابتداءً من الترياس، إذن، تقدم بحر واسع ليطيف بالكتلة المركزية الفرنسية من

الغرب ثم أخذ يتوسع إلى الشرق منها وزاد عمقه. وعلى كل كان خط من القيعان الضحلة وحتى من الجزر (السلسلة الفنديليسية، وهي من بقايا السلسلة الهيرسينية) يتمدد في المنطقة التي ستصبح منطقة الكتل المتبلورة الخارجية، وكانت تفصل هذا البحر المذكور إلى قسمين: في الغرب، البحر الجرماني، ضحل ومحفوف بمستنقعات واسعة ترسبت فيها توضعات وفيرة من الجبس والملح، وفي الشرق كان هناك البحر الألبي الكبير المفتوح على نطاق واسع، وأكثر عمقاً بكثير من الأول (شكل ٢١٨، ١). وفي هذا البحر ابتدأت تظهر ملامح جنين المحدب الجبار المركب géanticlinal الذي سيصبح فيما بعد الكورديللير الجبهي الكبير البريانسوني في جبال الألب الفرنسية، وغشاء سان برنار الكبير في جبال الألب السويسرية، والذي سيؤدي منذ ذلك الوقت إلى تقسيم المقعر الألبي إلى مقدمة حفرة avant-fosse وإلى حفرة ألبية كبرى. ويذهب الاعتقاد إلى أن هذه الحفرة الألبية الكبرى كانت، منذ ذلك العصر حاوية على محدب مركب جبار ثانوي، هو محدب موندولان Mont-Dolin (الذي كان بداية لغشاء دانبلانش Dent-Blanche).

فإذا كانت رسوبات مقدمة الحفرة قد نجت، على العموم، من الاستحالة (وعلى الأقل رسوبات الألب الفرنسية حتى منطقة تارنتيز Tarentaise باتجاه الشمال) فإن رسوبات الحفرة الألبية الكبرى، على العكس، التي انطمرت لعمق أكبر، قد تعرضت دائماً للشيّ وتحولت إلى صخور شيست متبلورة (غنايس، شيست لماع lustrés).

وفي الزمن اللياسي حصل انتقال في محور المقعر الأرضي الألبي باتجاه الغرب (شكل ٢١٨، ٢). وعندها اختفت الجزر الصغرى الفنديليسية تحت غطاء سميك من ترسب طيني. ثم جاء من الشرق انضغاط قوي جانبي أصاب المقعر الأرضي وأدّى إلى عوم طية واسعة هي السلسلة أو الكورديللير البريانسوني. وبينما أخذت تتوضع في الحفر رسوبات بحرية عميقة، تشكلت على حواف الكورديللير، على العكس، رسوبات ضحلة (نيريتية) ناجمة عن الحواجز القديمة الرصيفية (الكلس ذو المدخات «البوليبيات» Polypiérs) وعن بلاجات حصباوية أو عن انهيار الجروف الساحلية

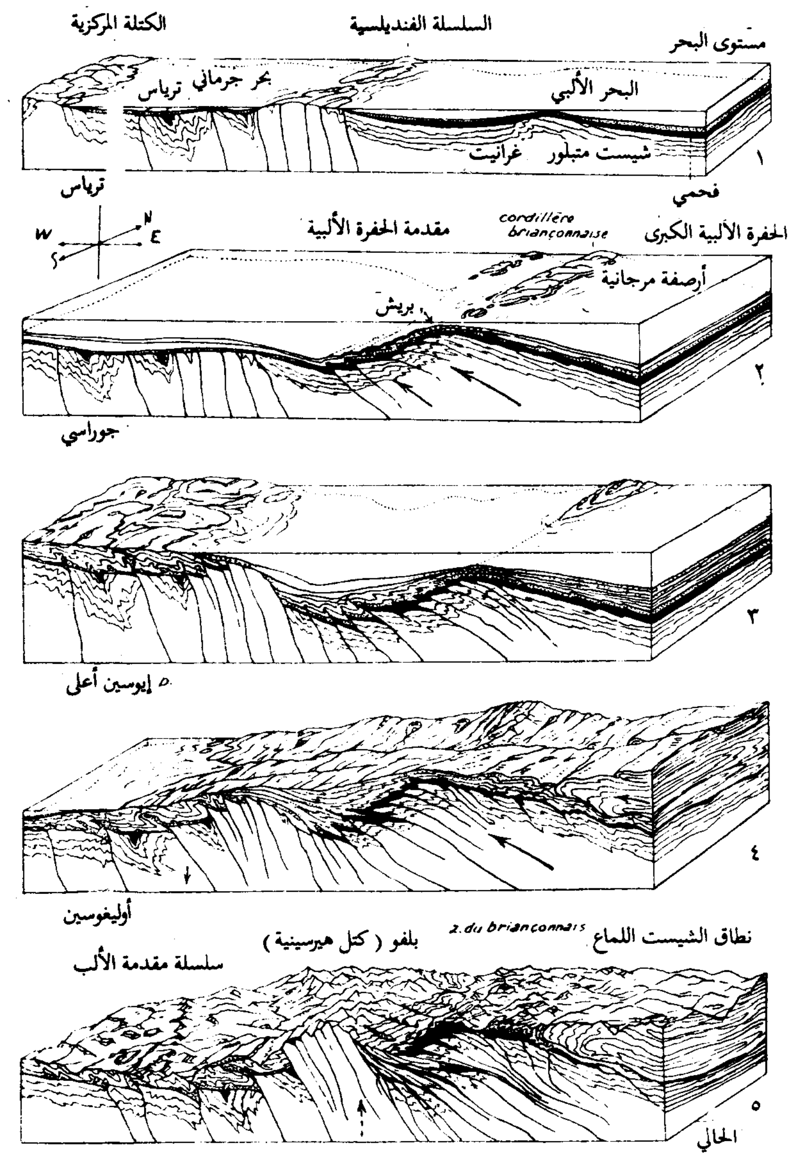
(بودينغ وبريش) في حين أخذت تظهر على محور الكورديللير ذاته، الذي لم تطاله الأمواج، رسوبات قارية ناجمة عن التأكلس décalcifiation حمراء وغنية بالحديد (سيديروليتية Sidèrolithiques) وهذه الرسوبات هي التي ستنجرف أحياناً خلال تطور المقعر الأرضي نحو عرض البحر وتمنح اللون الأحمر للرسوبات البحرية في الحفر (الطبقات الحمراء للجوراسي الأعلى والكريتاسي الأعلى).

وسيستمر هذا النظام، مع أحداث مختلفة، خلال كل الجوراسي الأوسط والأعلى وكان الكورديللير خلالها مغموراً في معظمه بسبب طغيان بحر عليها غطّاها برسوبات متنوعة.

بيد أنه وابتداءً من مطلع الكريتاسي، يظهر أنه اعترى الكورديللير البريانسوني عوم هام، مما يفسر انعدام رسوبات ذلك العصر في هذه المنطقة. ومن المحتمل أنه في نفس الفترة انبثق من مقدمة الحفرة كورديللير أبعد باتجاه الخارج (الكورديللير الشبه بريانسوني) وأتى أيضاً ليزيد في تعقيد توزع السِحَن faciès. ونجد السحن العميقة للكريتاسي باتجاه الغرب ابتداءً من النطاق شبه البريانسوني (القسم الشرقي من مقدمة الحفرة) ويحتمل أنها اندمجت في الزمر الشاملة لنطاق الشيست اللامعة.

وعلى تخوم الكريتاسي الأسفل والكريتاسي الأعلى، حصلت حركات واضحة جداً في ديفولوي Dèvoluy، والتي أخذ العلماء يكتشفون أثرها في كل مكان تقريباً من الألب (حركات ما قبل السينوني) أدت لعوم جزء من مشارف البلاد avant-pays. ولكن هذه المشارف، شأن الكورديللير البريانسوني، أصبحت بعد قليل مدفونة تحت رسوبات الطغيان السينوني الكبير.

ومن ثم؛ أي حوالي نهاية هذا العصر، التحقت كل مشارف البلاد (غابنسيه Gapençais، ديفولوي Dévoluy، فيركور Vercors ... إلخ) بالقارة بفعل التواءات ما قبل الإيوسين، مما أدى لضمور وانكماش مجال مقدمة الحفرة الألبية، التي أصبحت من الآن فصاعداً عبارة عن **المقعر الأرضي الموليتي**. وهذه القارة الكبيرة هي التي ستأتيها البحار الثلاثية كي تلامسها وتغطيها أحياناً.



شكل ٢١٨ ــ المراحل الخمس للتاريخ الجيولوجي لما بعد الهيرسيني في جبال الألب الفرنسية. ١ ، الترياس. ٢ ، الجوراسي. ٣ ، الإيوسين الأعلى. ٤ ، الأوليغوسين. ٥ ، العصر الحالي (ل. موريه).

وسيأخذ حت عنيف بصقل هذه الأراضي الجديدة التي ستبقى بعض فضلاتها ، كي ترصع بعض الأماكن محلياً وتعطي التشكلات الحديدية

sidèrolithiques ، ولكن القسم الأعظم سيذهب كي يغذي الترسب التموليتي . هذا ويكون حت القارة أحياناً على درجة من الشدة بحيث يبلغ ، محلياً ، الصخور القديمة ، وهكذا نلاحظ ، على أثر الطغيان الطفيف الذي قام به البحر الإيوسينـي باتجاه الغرب ، أن هناك بعض البرك الوحلية أو المؤلفة من حصباء ذات فلسيات قد رقدت مباشرة فوق صخور بلفو Pelvoux المتبلورة (شكل ٢١٨ ، ٣) .

وفي عرض البحر ؛ أي في الحفر ، تكدست بسرعة رسوبات شيستية خرسانية ورصيصية تعود للفليش وذلك ابتداءً من الأوليغوسين ، بحيث يمكن القول أن امتلاء المقعر الأرضي التموليتي بوساطة هذا الترسب الغليظ الناجم عن **الحركة المولدة للجبال orogéne** أصبح أمراً واقعاً .

وفي هذه الفترة دخلت المرحلة الرئيسية للحركات الألبية ميدان العمل وستأخذ الجهود الأوروجينية بالتطاول ، مع مراحل هدوء ، وذلك خلال بقية الثلاثي ؛ أي خلال أكثر من ٢٥ مليون سنة ولم تأخذ بالاستقرار إلّا في الميوسين . ونهض قاع الحفرة الألبية في حين تعرضت لضغط هائل مماسي نحو الغرب تجاه مشارف البلاد (شكل ٢١٨ ، ٤) . وهكذا نهضت الألب نهائياً في حين تقهقر البحر نحو خارج السلسلة الشابة ، ضمن أخدود يطيف بجبال الألب ظل يتحرك طيلة كل الأوليغوسين وحتى الميوسين ، والذي جاءت لتتكدس فيه ، منتجات الحت ، على شكل رصيصات ، ومولاس .

أما في المنطقة الخارجية ، فإن الركيزة المتبلورة القديمة ، التي سبق لها أن خضعت لهجمات الالتواءات الهيرسينية ، تجزأت على شكل أسافين دقيقة الحافة ، كما أن الغطاء الرسوبي تواءم نوعاً ما على شكل طيات مرنة فوق هذا الأساس وكان يخضع أحياناً في كتلته إلى انفصامات clivages أو انفصالات décollements على شكل رزمات من طبقات تتقدم بتأثير ثقلها ذاته أو بتأثير جهد الطيات الداخلية ، وهكذا أعطت طيات نائمة في النطاق شبه الألبي والأغشية الهلفيتية .

وفي المنطقة الداخليـة فإن الكورديلـليرات (مثـل الكورديلـلير البريانسونيـة briançonnaise وكورديللير دانبلانش Dent-Balanche ، وكورديللير ما تحت البريانسونية subbriançonnaise) تحولت إلى أغشية جرف ، في حين أن الأخاديد المحصورة بين

هذه الأغشية لجبهة البينية أخذت تلتوي بدورها وتنبثق على شكل أغشية قاع (أغشية مونروز Mont-Rose وأغشية سانبلوتيسانية Simplo-tessinoises) .

وانتهى الأمر بأغشية دانبلانش Dent-Blanche و مونروز Mont-Rose (أغشية الشيست اللامعة) ، التي دفعت بغشاء nappe غران سان برنار grand-saint-Bernard نحو الخارج ، إلى أن فصلت عن قاعدتها Substratum الفحمية الغطاء الثنائي البريانسوني الذي التوى على شكل طيات نائمة متنضدة (الحراشف البريانسونية حسب ترمييه P.Termier) ، وهي أغشية جرف حقيقية انسكبت تجاه ترس الكتل المتبلورة وذلك بترقيق en laminant الطيات الخارجية وبتجعيد غطاء هذه الكتل . وقد ظل قرب مدينة بريانسون Briançon مزقة من غشاء الشيست اللماع ، عفّ عنها الحت ، وظلت معلقة عند Serre-Chevallier وعند Prorel فوق هذه الحراشف : ذاك هو «الحرشف الرابع» عند ترمييه P.Termier . .

وفي هذه الفترة انطلقت أغشية امبرونيه Embrunais وأغشية أوبايي Ubaye ، وكذلك أغشية مقدمة الألب المنزلقة نحو خارج السلسلة ، بتأثير الثقالة وفوق الحدور Talus ، المائل المؤلف من الانتفاخ الألبي الجسيم .

وتهدرت هذه الأغشية خاصة بين مركانتور Mercantour وبلفو Pelvoux وفي السافوا (مقعر تون Thône ، شابليه Chablais ، بريئالب الرومانشية Préalpes romandes ، ونطاق الـ klippes) وشحذت الأساس المحلي والعائد لمنطقة ما تحت البريانسونية subbriançonnais الذي تفتت على شكل «نِشارات» من صخور مختلفة .

وجاءت ضربة أخيرة أدت لنهوض نهائي للحاجز المؤلف من الكتل المتبلورة ، التي باستثناء منخفض امبرونيه Embrunais وأوبايي Ubaye ، جاءت الآن كي تفصل ، وكأنها سور لا يقهر ، المنطقة الخارجية عن المنطقة الداخلية . ونحو آخر الميوسين ، تراخت الجهود الأوروجينية ، وحصلت كسور واسعة ، فضلاً عن انهدام النصف الشرقي من السلسلة ، المحدودة حالياً بسهل البو (الانهدامات الانسوبرية

insubriens) ، وأعطت حينئذ لجبال الألب تلك السيماء غير المتناظرة المميزة جداً . وفي خلال هذه المرحلة كانت الطيات الكبرى البينية قد اضطرت للانسكاب على مؤخرة البلاد arrière-pays وأنتجت أو زادت الطيات الراجعة الشهيرة (طيات ميشابل Mischabel وطيات فالزافرانش Valsafaranche) بالإضافة إلى الطيات المروحية (المروحة البريانسونية) .

وأخيراً ، وابتداءً من البليوسين ، وتحت تأثير ضربات متكررة من حت عنيف ومتنوع كان يقرض ويحزز ، والذي كان أهم فتراته هي الدور الجمودي الرباعي ، راحت تأخذ السلسلة الألبية تدريجياً سيماءها الحالية (شكل ٢١٨ ، ٥) .

V ــ السلاسل الجبلية القديمة

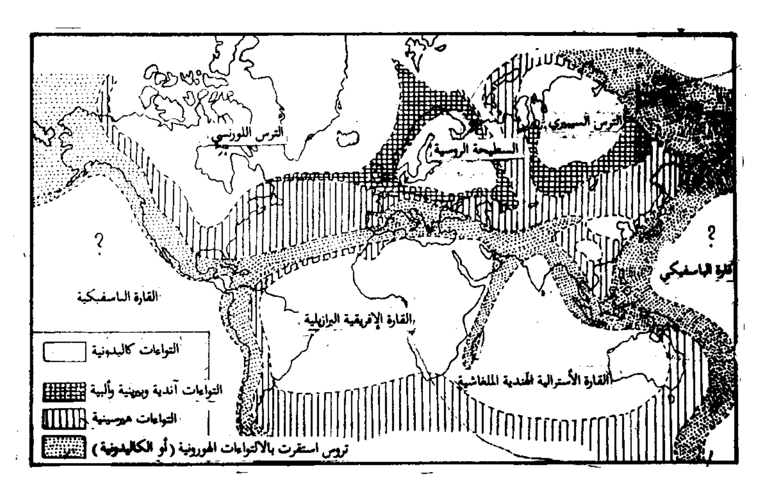
إن السلسلة الألبية ، التي أتينا على تبيان تكوينها ، هي أكثر السلاسل معرفة ، لأنها أحدثها . ولكن يمكن القيام بمحاولات مماثلة بالنسبة للسلاسل الأكثر قدماً والتي تعاقبت على تضريس وجه الأرض ، والتي سبق أن تعرضنا إليها سابقاً (شكل ٢١٩ و ٢١٩ مكرر) .

١ً ــ السلسلة اللورنسية : المتميزة بتنافر واقع على تخم الأراضي اللورنسية ، الملتوية والاستحالية ، والآلغونكية .

٢ً ــ السلسلة الهورونيـة : أو ما قبـل الكامبرية ، تكـون كل الرسوبـات الآلغونكية فيها ، المحقونة بصخور اندفاعية واستحالية ، مصابة بتخلعات سابقة في الكامبري . وتظهر هذه السلسلة في كندا (منطقة بلاد قبائل Hurons الهندية) وفي أقصى شمال إيقوسيا .

٣ً ــ السلسلة الكاليدونيـة : التـي يأتي إسمهـا من إيقوسيـا (كاليدونيـا القديمة) ، وتتصف بتنافر بين السيلوري والديفوني ، والتي أمكـن إثبـات حدوث

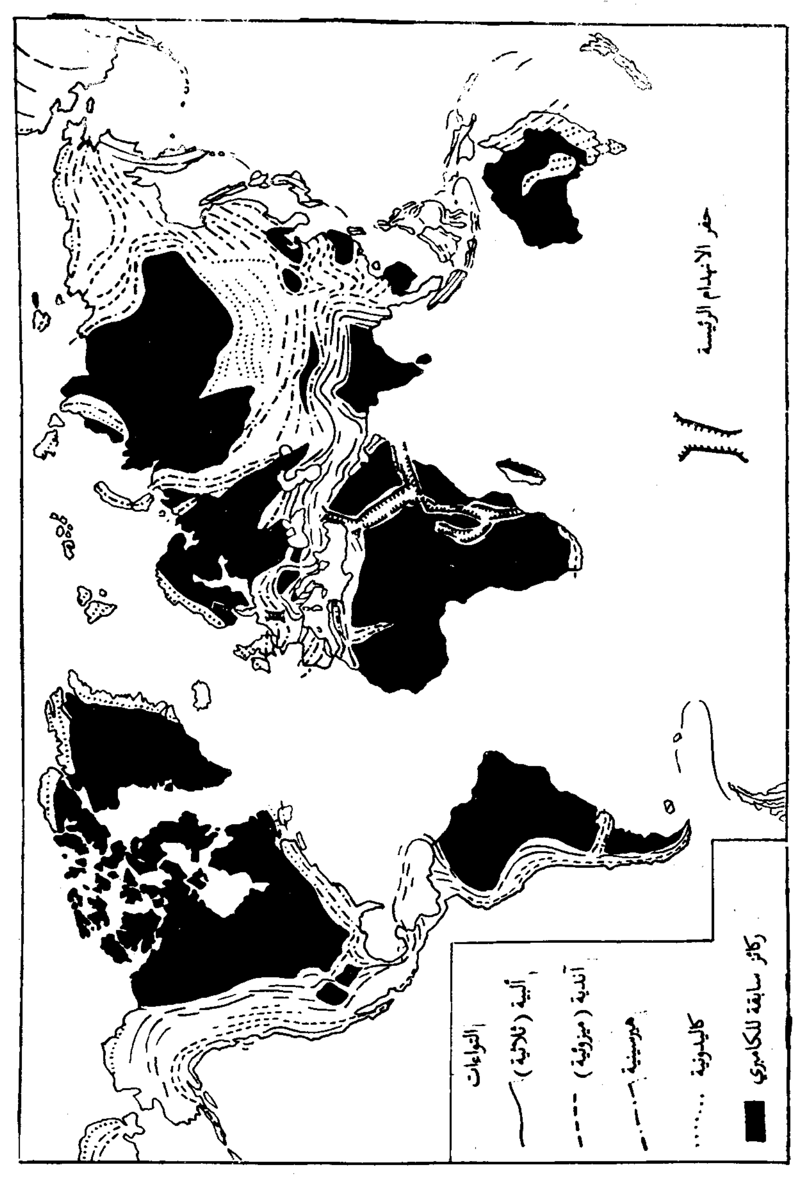
ظاهرات جرف حقيقية فيها (تراكب الغنايس فوق السيلوري لجبال غرامبيان، في إيقوسيا). ونجد هذه السلسلة في اسكندينافيا، وفي سيبيريا وفي الجبال الخضراء بأمريكا الشمالية. وكما هو الحال بالنسبة للسلسلة السابقة، فقد كان نهوض هذه السلسلة مصحوباً بهيجانات بركانية قوية وبظهور العديد من الباتوليت batholites الغرانيتية.



شكل ٢١٩ ـــ امتداد النطاقات القديمة للالتواءات على سطح الكرة الأرضية.

٤ ـــ **السلسلة الهيرسينيـة**: (أو الألتائيـة Altaïdes) وهـي أكثر السلاسل المذكورة معرفة والتي انتصبت خلال الكاربونيفير. وهنا اكتشفت أيضاً ظواهر تغطية هامة، لا سيما في الحوض الفحمي الفرنسي ـــ البلجيكي والذي سبق لنا الكلام عنه (ص٥١٧) وفي حوض غارد Gard. وإذا كان القسم الأعظم من هذه السلسلة مختفياً حالياً بواسطة الانهدامات فإن أجزاء أخرى لا تزال منهضة في نطاقات التوائية أو على شكل هورستات متميزة جداً كما في جبال الأبالاش، كورنوايل، والمائدتين Mesetas الاسبانية والمراكشية، وبريتانيا، والماسيف سنترال، جبال الفوج والغابة السوداء، الآردين، هارتز، توزنجر، فالد، بوهيميا، الأورال، وجبال الآلتاي... إلخ، كما أن بعضها قد اندمج ضمن التواءات أحدث، كحالة الكتل المركزية في جبال الألب الغربية (الكتل المتبلورة الخارجية). وتصدر الأهمية الاقتصادية لهذه الالتواءات عن أنها

تشتمل على أكثرية الأحواض الفحمية الكبرى، وقد نجم عن نهوض هذه السلسلة الهيرسينية يقظة جديدة للنشاط البركاني، ولا سيما خلال الكاربونيفير والبرمي (ريوليت) في الماسيف سنترال، بريتانيا، الفو ج، مور «جبال المغاربة» واستيريل.



شكل ٢١٩ ــ مكرر. الخارطة التكتونية للعالم (عن أومبغروف، مبسّط).

٥ً ــ **وأخيراً السلسلة الألبية**: وهي أحدث السلاسل تاريخاً ويعود عمرها للأوليغوسين، مع احتداد فيما بعد الميوسين. وإليها تنتسب جبال ألألب، البيرينيه، الأطلس، الكربات، القوقاز، هيمالايا، الجبال الصخرية والكورديللير الأمريكية [١]. وقد كانت مصحوبة بنشاط بركاني، كما في كيزرتوهل، ماسيف سنترال، آغد Agde ... إلخ.

وقد استطاع العالم مارسيل برتران أن يرسم خرائط للالتواءات المتعاقبة والتي تظهر أنه خلال الأزمنة الجيولوجية كان البحر الأبيض القديم، أو كما يسميه الجيولوجيون ميزوجيه Mésogée، يتعرض تدريجياً للانكماش وتناقص عرضه بفعل نشوء هذه السلاسل التي لم تتوقف، رغم منظرها العديم الانتظام، عن زيادة رقعة مجال القارة الكبرى الواقعة شمال الأطلنطي بعد أن سوّتها وبرتها. ولا يشكل البحر الأبيض المتوسط الحالي أكثر من بقية بحر، تطيف به من الجنوب منطقة قديمة التصلب، هي القارة الافريقية، مع ركيزتها في الصحراء الكبرى وحيث تكون الالتواءات قديمة جداً (ما قبل السيلوري، وحتى ما قبل الكامبري) ولم تتجدد أبداً منذ ذلك التاريخ. وهذه الالتواءات المتعاقبة التي كانت تتقدم باتجاه الجنوب استطاعت إذن أن تقلّص شيئاً فشيئاً الأجزاء غير المستقرة في القشرة الأرضية (قانون التقهقر المتزايد باتجاه الجنوب، حسب مارسيل برتران).

وعلى كل فإن مفهوم التكتونيك المتراكب superposées الذي سبق لنا الكلام عنه (ص ٣٨٣) يُظهر مع ذلك أن هناك، في بعض مناطق آسيا وأمريكا، طيات من أعمار متباينة تستطيع أن تتضافر، وأن تتراكب وحتى أن تتداخل في اتجاهات متباينة (مثال: الطيات العائدة للدور الثاني والثالث في منطقة جزر الأنتيل). أما في جبال

---

(١) وعلى كل يجب أن نعتبر هذه السلسلة الألبية في معنى أكثر اتساعاً لأنه، فيما يتعلق بجبال الألب المعروفة نجد أن الحركات الألبية الحقيقية قد ابتدأت فيها منذ اللياس. أما في امريكا فإن الحركات التي أدت إلى التواء الكورديللير الآندية (الحركات الآندية) تعود لآخر الجوراسي وقد مرت بمرحلة احتداد، لا تقل أهمية عن المرحلة الاحتدادية الألبية، حدثت في أواخر الكريتاسي. وأخيراً نلاحظ في جبال البيرينيه أن أول مرحلة للالتواءات حدثت في الكريتاسي الأوسط.

الألب، كما هو الحال في كثير من مناطق أخرى، فنجد أن مختلف منظومات الطيات تظل متوازية بشكل محسوس.

ومهما كان عليه الأمر فإن مصير كل هذه السلاسل الجبلية هو الخراب، والتسوية الشاملة على يد الحت. وأقدمها هي التي تحمل آثار البلى أكثر من سواها.

فإذا استثنينا في السلسلة الهيرسينية بعض الأجزاء المتصابية، بفعل الحركة المولّدة للجبال الألبية، لا نجد سوى جذوراً مدفونة في الأرض وفي أغلب الأحيان مستورة، كما هو الحال في شمال فرنسا، بطبقات طاغية «تجاوزية» أفقية. والسلسلة الألبية التي لا تزال منتصبة بشمم ومعممة بثلوجها الخالدة ستلقى المصير نفسه عندما تمر عليها آلاف الأعوام.

هذا ويجب علينا أن نتذكر، مع كل ما تقدم، أن تشوهات القشرة الأرضية مستمرة ولا تتميز بحقب طويلة يسود فيها الهدوء الكامل ومفصولة عن بعضها بحقب كارثية. فالسلاسل الجبلية الكبرى التي أتينا على ذكر أسمائها هي عبارة عن مراحل احتدادية؛ أي نطاقات نموذجية اتخذت كنماذج ضمن تعاقب غير منقطع تقريباً من الالتواءات. وتسلسل مراحل العالم ستيل Stille تأتي لتؤيد ذلك من وجهة النظر هذه بشرط أن لا نعمّم استعمالها ضمن هدف التأريخ التكتوني العالمي.

VI ـــ البراكين والزلازل

البراكين: من المتفق عليه أن البراكين الحديثة أو المعاصرة ترتصف على طول انكسارات الغلاف الصخري «الليتوسفير» الشاقولية، أو تكون مصفوفة على السفح المنتصب الذي يطيف بالمنخفضات البحرية الكبرى أو القارية، والتي هي بدورها عبارة عن رقع غير مستقرة خاضعة للزلازل.

وهكذا نجدها تؤلف حول المحيط الهادي ما يدعى **بالحزام الناري الباسفيكي**. وتكون البراكين هنا على علاقة مع الطيات الثلاثية الموازية للساحل، والتي لا تبتعد عن

القيعان المحيطية الكبرى، وفي النطاق الضعيف من القشرة الأرضية؛ أي في نطاق متحرك (شكل ٢٢٠).

ونستطيع أن نقول الشيء نفسه بالنسبة لما يسمى **الشق المتوسطي أو الرومي** نسبة للبحر المتوسط). ويشمل جزر الأنتيل، وجزر الصوند، والبحر الأبيض المتوسط، مما ينم عن اختفاء سلسلة جبلية ثلاثية، تبدو اليوم في معظمها متخلعة مطموسة. ونلاحظ في البحر الأبيض المتوسط أن هذه الانهيارات الحديثة تدل عن نفسها بوجود براكين ناشطة عديدة.

كما نجد أيضاً براكين على طول محور الأطلسي كما في إيسلندا، وجزر جان ماين Jans Mayens، وفيرويه Féroé، وإيقوسيا، وآسور، وماديرا، والقديسة هيلانة، واسّانسيون، وأخيراً جزر تريستان داكونها. غير أنه من المعلوم أن الحفرة الأطلسية قد نجمت، إلى حد كبير، عن الانهيارات والانكسارات التي فصلت شبه جزيرة بريتانيا ومنطقة الكورنواي في انكلترا عن أمريكا الشمالية وافريقيا والبرازيل.

وأخيراً نجد أن الانكسارات الافريقية الكبرى مصحوبة أيضاً بالبراكين: كالبحر الميت ووادي الأردن، والبحر الأحمر، وحفرة أريتريا وحفرة البحرات الكبرى الافريقية.

الزلازل: إذا كان من المستطاع نسبة بعض الزلازل إلى الهيجانات البركانية أو إلى انهيار التجاويف الباطنية الناجمة عن الحت، فقد أصبح الآن من المؤكد جيداً أن معظم هذه الزلازل يصدر عن حركات مولدة للجبال (أوروجينية) نتجت عنها انكسارات عظيمة في القشرة الأرضية، كما يدل على ذلك تحديد مكان المراكز الفوقية èpicentres. وهذه الانكسارات إما أن تكون صدوعاً جانبية للحجرات المنهارة (صدوع الكبس tassement) أو تكون عبارة عن انكسارات طولانية أو عرضانية (طيات صدعية، تخلعات جانبية décrochements) اعترت المناطق الملتوية، أو عبارة عن صدوع مائلة نشأت في مجموعة التوائية سائرة نحو الخسف affaissement.

ويتكشف **التحديد المكاني الجغرافي للحوادث الزلزالية الكبرى**، كما تدل عليه

أبحاث Montessus de Ballore ومصورات ميلن Milne عن تمركز صريح لهذه الحوادث على طول الحدورات التحت بحرية. ونستطيع القول أنه كلما اقترب الحدور تحت البحري من ساحل ما كلما صار هذا الساحل عديم الاستقرار. وهكذا نجد أن حوالي نصف المراكز الفوقية تنحصر على حافة المحيط الباسفيكي وأكثر من ثلثها على ساحل البحر الأبيض المتوسط.

وأهم خط زلزالي هو الخط الذي يجتاز الجزر الأندونيسية والقلائد الجزرية في ميلانيزيا ويمتد حتى شبه جزيرة كامتشاتكا في الشمال الشرقي من الاتحاد السوفييتي.

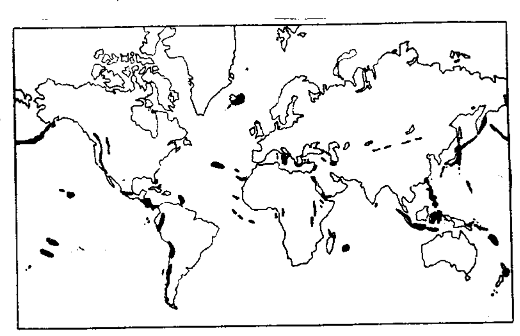
وعليه نجد أن الأكثرية الساحقة للزلازل إنما تتم في مناطق الالتواءات الفتية وفي نطاقات السلاسل الثلاثية؛ أي تلك التي لا تزال ترتجف بفعل حركات مولدة للجبال، كما أنه من الصحيح القول أن في هذه المناطق تظهر أكثر التضاريس بروزاً وأعنف الحدورات تحت البحرية، فيلاحظ مثلاً في بعض نقاط الساحل الباسفيكي أن فروق الارتفاعات بين قمة سلاسل الآند والهوات البحرية السحيقة قد تتجاوز ١٥٠٠٠م.

فالزلازل ليست إذن سوى تعبير عن التطور الأوروجيني للكرة الأرضية وأكثر الزلازل التي تمت دراستها بشكل أفضل أظهرت دوماً أنها كانت ناجمة عن صدوع قديمة تحركت من جديد. وقد أطلق إسم **الصدوع** أو **الفوالق الحية** على التي يكون من المؤكد، بعد تحديد مكان المركز الفوقي، على أنها هي سبب الزلازل الأرضية. فكثير من صدوع كاليفورنيا، وخاصة الصدع الشهير الذي تمخض عن زلازل منطقة سان فرانسيسكو، هي عبارة عن صدوع حية. ولكن أمكن مشاهدة نشوء صدوع خلال الزلازل الأرضية على أثر حركات نهوض أو خفس شاملة اعترت مناطق واسعة منبسطة قد يبلغ مداها بضع عشرات الأمتار، كما حدث في اليابان.

أضف إلى ذلك أن الانهيارات المحيطية العنيفة، والتي أمكن أحياناً ملاحظة وجودها على أثر انقطاع الكابلات تحت البحرية، هي المسببة لظاهرات مريعة معروفة تحت إسم **غزو المد** أو **طفرة البحر** أو كما تسمى باليابانية «تزونامي». وهذه الانهيارات وحدها التي تحصل قريباً من الساحل هي التي تستطيع، بالواقع، تفسير

تقهقر المياه الذي يسبق الكارثة وموجة العودة العارمة التي تعقب التقهقر المذكور والتي لوحظت آثارها أحياناً على سطح الكرة الأرضية قاطبة .

الخلاصة تبدو لنا البراكين والزلازل ، إلّا فيما ندر ، كنتائج للسبب ذاته ، فهي ظواهر لا يمكن فصلها عن القوى الأوروجينية التي بقي علينا الآن أن نبحث عن أصلها .



شكل ٢٢٠ ــ التوزع العالمي للبراكين الناشطة عن ج . مركالي ، يتطابق كبر البقع السوداء مع اتساع النشاط البركاني . لاحظ « الدائرة النارية للباسفيكي » . وتقدم خارطة للمناطق الزلزالية نتائج مماثلة .

الظواهر الإندفاعية القديمة والحركات المولدة للجبال Orogénie : لقد بيّنا أن من الممكن اعتبار البراكين الحالية كنتيجة للحوادث التكتونية . بيد أن الحادثات الإندفاعية القديمة التي صاحبت تشكل السلاسل الجبلية كانت تستحوذ على انتباه الجيولوجيين منذ زمن طويل .

وبادئ ذي بدء نلاحظ أن تعاقب التدفقات الاندفاعية (توابع إندفاعية في النطاقات الأوروجينية) في مختلف مناطق الكرة الأرضية يكون ثابتاً تقريباً ؛ فإذا كانت الصخور الأساسية أو القاعدية تميز ، على الأخص ، الأطوار السابقة للحركات الأوروجينية فإن الصخور السيالية ، على العكس ، هي التي ترافق مراحل الالتواء ، ثم عند آخر وبعد الحقبة الأوروجينية تضاف إلى هذه الصخور السيالية صخور أساسية أو معتدلة .

ترى كيف احتلت هذه الصخور المختلفة مكانها خلال الفترة الأوروجينية ؟ لقد أجاب كل من كلوس Closs وريتمان Rittman ، منذ عام ١٩٤٠ ، على هذا التساؤل

بصورة مقبولة على العموم. فهذين الجيولوجيين يقبلان بوجود نموذجين جوهريين للكتل الاندساسية أو «بلوتونات Plutons» هما **الميغما ـ بلوتونية Migmas-plutons والبركانية البلوتونية Vulcano-plutons**.

فالبركانية البلوتونية تكون على الأخص واقعة في المناطق المائدية المصدَّعة وتكون فيها أحياناً مصحوبة بلابات أساسية (ويمكن اعتبارها كصخور حبيبية grenues من أصل سيمي «أي من السيما» لم تتعرض لأية استحالة خلال اختراقها السيال).

على أن الصخور الميغما ـ بلوتونية هي دائماً تقريباً عبارة عن اندساسات إندفاعية معاصرة، أو تالية تقريباً للاحتداد الأوروجيني، وتشكلت محلياً إذا صح القول على حساب السيال بفعل الانصهار الاستحالي. ففي السلاسل الملتوية نجد أن هذه الميغما ـ بلوتونية تميز مرحلة الالتواء وتكون أحياناً مسبوقة ببركنة أساسية ولكنها دائماً متبوعة بالبركنة المذكورة.

وإجمالاً يمكن القول، حسب رأي أومبغروف Umbgrove، إنه في مقعر أرضي ما (جيوسنكلينال) في حالة التوائه تكون المناطق المحورية العميقة فيه هي التي تتعرض للحقن باكراً بالصخور السيمية خلال الالتواء، بحيث يتكون نوع من جدار يدخل في نطاق الحرارة العالية والضغط وحينئذ يعود المجموع للانصهار محلياً كي يعطي باتوليت حامضاً يستقر في مكانه ويحقن المجموع حسب آلية تختلف نوعاً ما عن ظواهر الحقن السيمية الباكرة في المقعر الأرضي.

٢ ـ الحركات المولدة للقارات épirogèniques

عند الكلام عن الحركات الأوروجينية المؤدية، بفعل انضغاط جانبي يعتري حفرة ترسب، إلى تشكل سلاسل جيوسنكلينالية وطيات قاع، يجب أن نترك مكاناً لنماذج أخرى من حركات، تظهر على شكل ذبذبات شاملة لرقع قارية، أطلق عليها

العالم ج. ك. جيلبرت اسم الحركات المولدة للقارات والتي هي، بالواقع، عبارة عن تظاهرات ملموسة لمبدأ التوازن القاري isostasie الشهير.

ومن الممكن في أيامنا هذه ملاحظة حركات مماثلة؛ فبعض السواحل مثل خليج دوارنونيه Douarnenez في بريتانيا وساحل الفلاندر ... إلخ) تغوص تدريجياً، في حين أن السواحل الأخرى، على العكس، تنهض مثل أعمدة معبد سيرابيس في منطقة بوزّول Pouzzol (قرب نابولي) التي خرشتها الرخويات الآكلة للحجر Lithophages، وعوم بعض الأرصفة المرجانية على سواحل المحيط الهادي، والسواحل الاسكنديناڤية ... إلخ. وبتعبير آخر يبدو البحر حالياً طاغياً في بعض المناطق ومتقهقراً في الأخرى. بيد أن الأمر كان مماثلاً خلال الأزمنة الجيولوجية ومن المؤكد أن مناطق تصلب قديمة، مثل المجن السكنديناڤي والمجن الكندي، يجب اعتبارهما كرقع نهوض اندفعت شاقولياً من الأسفل وكلياً بفعل حركات مولدة للقارات.

وأفضل البراهين الجيولوجية عن تنقلات خطوط السواحل القديمة، هي التي حصلنا عليها من دراسة الطغيانات والإنحسارات البحرية التي تسمح لنا أحياناً باقتفاء حركات البحر خطوة فخطوة. وفي ذلك تكمن، كما سبق لنا أن رأينا سابقاً، أهداف الستراتيغرافيا الجوهرية.

ترى ما هي أسباب هذه الحركات الإبيروجينية؟ إن كل حركات البحار التي لاحظنا آثارها هي نسبية وتستطيع أن تنجم على حد سواء عن غوص أو نهوض الركائز القارية أو عن ذبذبات المستوى البحري. لهذا نجد أن الآراء موزعة بين أنصار الاتجاهين ولا نزال غير قادرين على أن نحبذ إحدى هاتين النظريتين.

بيد أن فرضية التنقُّل المطلق للمستوى البحري، والتي دشنت تحت اسم **حركات مستوى البحر** **mouvements eustatiques** حسب العالم سويس Suess، لم تعد تتواءم مع معلوماتنا عن توازن السوائل بالرغم من أنه من الميسور قبولها بسبب

العالم ج. ك. جيلبرت اسم الحركات المولدة للقارات والتي هي، بالواقع، عبارة عن تظاهرات ملموسة لمبدأ التوازن القاري isostasie الشهير.

ومن الممكن في أيامنا هذه ملاحظة حركات مماثلة؛ فبعض السواحل مثل خليج دوارنونيه Douarnenez في بريتانيا وساحل الفلاندر... إلخ) تغوص تدريجياً، في حين أن السواحل الأخرى، على العكس، تنهض مثل أعمدة معبد سيرابيس في منطقة بوزّول Pouzzol (قرب نابولي) التي خرشتها الرخويات الآكلة للحجر Lithophages، وعوم بعض الأرصفة المرجانية على سواحل المحيط الهادي، والسواحل الاسكنديناڤية... إلخ. وبتعبير آخر يبدو البحر حالياً طاغياً في بعض المناطق ومتقهقراً في الأخرى. بيد أن الأمر كان مماثلاً خلال الأزمنة الجيولوجية ومن المؤكد أن مناطق تصلب قديمة، مثل المجن السكنديناڤي والمجن الكندي، يجب اعتبارهما كرقع نهوض اندفعت شاقولياً من الأسفل وكلياً بفعل حركات مولدة للقارات.

وأفضل البراهين الجيولوجية عن تنقلات خطوط السواحل القديمة، هي التي حصلنا عليها من دراسة الطغيانات والإنحسارات البحرية التي تسمح لنا أحياناً باقتفاء حركات البحر خطوة فخطوة. وفي ذلك تكمن، كما سبق لنا أن رأينا سابقاً، أهداف الستراتيغرافيا الجوهرية.

ترى ما هي أسباب هذه الحركات الإبيروجينية؟ إن كل حركات البحار التي لاحظنا آثارها هي نسبية وتستطيع أن تنجم على حد سواء عن غوص أو نهوض الركائز القارية أو عن ذبذبات المستوى البحري. لهذا نجد أن الآراء موزعة بين أنصار الاتجاهين ولا نزال غير قادرين على أن نحبذ إحدى هاتين النظريتين.

بيد أن فرضية التنقُّل المطلق للمستوى البحري، والتي دشنت تحت اسم **حركات مستوى البحر mouvements eustatiques** حسب العالم سويس Suess، لم تعد تتواءم مع معلوماتنا عن توازن السوائل بالرغم من أنه من الميسور قبولها بسبب

ظاهرة حركات المد والجزر والتبدلات الممكنة في سرعة دوران الأرض، غير أن الاتجاه الحالي بالانحياز، بالأحرى، نحو نظرية الذبذبات البطيئة للأرض[1].

وقد سمحت الأبحاث التي قام بها العالم هوغ Haug عن الطغيانات والانحسارات إلى تقديم النتائج الآتية:

١ً ــ لا تحدث الطغيانات أبداً بشكل متناوب في كل من نصفي الكرة الأرضية، بل تحدث بآن واحد على طرفي خط الاستواء (مما يقوِّض الفرضية القائلة: بأن تنقلات خطوط السواحل هي نتيجة تشكل الجموديات القارية التي تحدث بصورة متناوبة في كل من نصفي الكرة).

٢ً ــ إنها لا تكون محدودة مكانياً حسب درجة العرض بل تحدث، على العكس، بآن واحد في المناطق القطبية وفي المناطق الاستوائية (وهذا ما يهدم فرضية تبدلات سرعة دوران الأرض).

٣ً ــ إنها ليست عالمية (فهي ليست بالتالي عبارة عن حركات مستوى البحر).

هذا ودعمت فرضية ذبذبات الأرض بنتائج الأبحاث الرائعة التي قام بها دوجير De Geer وتلاميذه عن تاريخ شبه الجزيرة الاسكندينافية (المجن الاسكنديناڤي حسب تعبير سويس Suess) خلال الرابعي. ومن المعلوم أن هذا المجن، أو الترس، قد غمرته الجموديات تماماً خلال هذه الحقبة الزمنية. وفي أواخر الزحف الجمودي الكبير الثالث أخذت الجمودية الاسكندينافية بالتقهقر. بيد أن البحر اجتاح فوراً الأراضي التي تخلت عنها الجمودية وترك فوقها، كرواسب، الغضاريات الشهيرة والمعروفة بإسم غضاريات ذات **Yoldia arctica** والتي يتراوح ارتفاعها بين ٠،٠ و ٢٧٠م. إن تقدم البحر لهذا المدى لم يكن ليتمّ إلّا بفضل خسف المنطقة بشكل شامل كان يجري سوية مع ذوبان الجمودية، واختلافات الارتفاعات الملحوظة بالنسبة للغضاريات ذات

(١) ويذهب إ. آرغان إلى أن الحركات الفوقارية **épirogéniques** ليست سوى طيات قاع ذات نصف قطر انحنائي كبير.

يولديا Yoldia تدل على أن الأرض، بعد أن اجتاحها البحر، أخذت بالنهوض بشكل متفاوت. هذا وقد أمكن صنع خرائط بنيوية لهذه الغضاريات تظهر الحركات التي خضع لها قاع بحر **يولديا** منذ الاجتياح البحري، كما أمكن صنع خرائط مماثلة بالنسبة للتوضعات التي تخلى عنها الطغيان البحري، وأقصد بها التوضعات التي تركها طغيان بحري ثان، هي توضعات البحر ذو الليتورين à Littorines، الذي أعقبه نهوض. وتنمّ **خطوط القواعد المتساوية isobases** في هذه الخرائط؛ أي الخطوط التي تصل النقاط التي تكون فيها هذه التوضعات على نفس الارتفاع، تنم عن توازٍ بديع مع حافة الكتلة الفينو ــ سكندينافية، وفي ذلك برهان على أن طغيانات وانحسارات بحر الشمال خلال الرباعي تنجم بالتأكيد عن ذبذبات إيجابية وسلبية لهذا المجن. ويبدو أن ثقل الجليد هو الذي أدى إلى هبوط المنطقة التي لم تأخذ بالنهوض من جديد إلّا بعد مدة طويلة على أثر ذوبان الجليد المذكور. وتنهض الركيزة الفينو ــ سكندينافية في أيامنا هذه بصورة غير محسوسة كي تسترد مستواها البدائي بسرعة حسبت، بعد دراسة التسوية، بمقدار ١م بالقرن تقريباً. وقد لوحظت تشوهات مماثلة اعترت المجن الكندي[١].

ومن جهة أخرى، فقد سمحت الأبحاث الدقيقة التي قام بها هوغ Haug له بأن يقيم علاقة بين الطغيانات والانحسارات في الجيوسنكلينالات وفوق الرقع القارية التي يبدو أنها تنتج فعلاً عن ذبذبات شاقولية في القشرة الأرضية تجنح إلى إيجاد توازن متقلقل باستمرار. ويرى هوغ أن الثغرات الطبقية (الستراتيغرافية) الإقليمية تتعوَّض في المناطق المجاورة بتوضع بحري مقابل:

«في كل المرات التي تكون فيها مجموعة معينة من الزمرة الرسوبية طاغية فوق الرقع القارية نجد فيها نفس المجموعة في حالة انحسار في الجيوسنكلينالات.

وبالمقابل:

(١) لقد حسب أن المجن السكنديناڤي قد غطس خلال الدور الرابع بمقدار ٥٠٠م، والمجن الكندي بمقدار ٢٥٠م وذلك تحت وزن القبعات الجمودية التي كانت تستر هاتين المنطقتين حينذاك.

«في كل المرات التي تكون فيها مجموعة ما طاغية في الجيوسنكلينالات (المقعرات الأرضية) تكون هي ذاتها في حالة انحسار فوق الرقع القارية».

فالحركات الحادثة في اتجاه معين هي إذن متواقتة فوق كل الرقع القارية وتتعوض في الجيوسنكلينالات بحركات معاكسة.

ففي السلاسل الجبلية الجيوسنكلينالية، المتشكلة حديثاً، يمكن ملاحظة حركات مولدة للقارات عائدة للتوازن القاري، وهي التي تفسر نهوض بعض النطاقات حين توقف التوترات السطحية وتكدس الطيات.

فإذا كان تكدس كهذا يؤدي بالبدء إلى غطس النطاق السيالي الملتوي في السيما فإن توقف التكدس المذكور يؤدي حالاً إلى عوم المجموع تدريجياً مثل جبل جليدي بحري iceberg، كما أن الحت الذي يمارس دوره على اثر ذلك يزيد في اختلال التوازن هذا. وهكذا تستطيع بعض الحركات المتأخرة في الحزم الجبلية الألبية أن تجد تفسيرها (ب. فورمارييه).

٣ ــ الأسباب العامة للحركات المولدة للجبال

لقد حسب الجيولوجي السويسري هايم Heim أن الالتواءات الألبية قلصت عرض الجيوسنكلينال الألبي بمقدار الثمن تقريباً بحيث، إذا أمكن فتح هذه الطيات ونشرها، فإن جبال الألب ستبلغ ١٢٠٠ كم من العرض تقريباً.

أما بالنسبة لجبال الجورا، فيرى هذا العالم أن عرضها قد تناقص بمقدار الربع بالنسبة للرقعة التي كانت عليها قبل التقلص. وإذا أخذنا بعين الاعتبار، من جهة أخرى، أن هذه الالتواءات تخضع لعدد معين من القوانين المذكورة آنفاً (اتجاه وحيد للالتواء unilatéralité، تحديد موقع السلاسل الجبلية... إلخ) فإن نتائج كهذه لا يمكن عندئذ تفسيرها إلّا بأسباب عامة جداً وقديرة. ولكن حتى في هذه النظرة لا يزال الاتفاق بعيداً عن التحقق وقد طرحت فرضيات عديدة بالتتالي.

وبما أنه من المستحيل إطلاقاً تعداد كل هذه الفرضيات فإن اختيارنا وتفضيلنا قد وقع على تلك التي لفتت انتباه الجيولوجيين لأطول مدة.

I ــ فرضية النهوض Soulèvement

لقد أدَّت دراسات هوتون Hutton و ل. دوبوش L.de Buch عن صفات النهوض (وهي فكرة خاطئة بالواقع) أقول أدت بالجيولوجيين إلى اعتبار الجبال كنتيجة للحوادث البركانية، وإن كان من المقبول أن المواد الاندفاعية، كاللابات والغاز، الواقعة تحت الضغط، يمكنها محلياً أن تنهض بالرواسب باتجاه شاقولي. وهكذا ظل الاعتقاد السائد، خلال زمن طويل، أن الكتل المتبلورة الألبية من نموذج المون بلان Mont Blanc، وبيللدون Belledonne أو بلفو Pelvoux قد وصلت للسطح بعد أن اخترقت، من الأسفل للأعلى، غطاءها الرسوبي والذي دفعته حينذاك جانبياً وبشكل متناظر بالنسبة لمحور السلسلة.

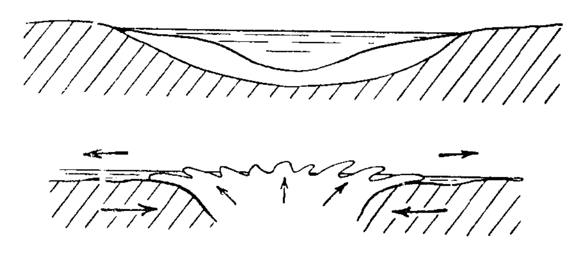
ولكن لم يطل الوقت على هذا الرأي بعد أن وجد أن النظرية الأوّلية عن صفات النهوض لم تكن صحيحة وأن الجبال كانت تتشكل تقريباً من صخور ملتوية (وهذا ما توصل إليه العالم سوسّور de Saussure منذ عام ١٧٩٦)، مما أدى إلى رد فعل عنيف، وخاصة على يد آ. هايم وادمون سويس، لم يلبث على اثره أن تداعت نظرية النهوض (التي تجنح النظريات الحديثة إلى العودة إليها مباشرة بشكل متفاوت كما سنرى ذلك).

II ــ فرضية التقلص Contraction

وتعود للعالم ايلي دو بومون Beaumont وانتشرت في امريكا على يد دانا Dana و لوكونت Conte وتعد هذه النظرية من أقدم النظريات، وظلت خلال مدة طويلة هي المفضّلة عند الجيولوجيين والجمهور بسبب بساطتها.

ويمكن تلخيصها بشكل تقريبي بالقول بأن على القشرة الأرضية أن تتواءم فوق نواتها المركزية التي تتقلص بالتبرد كتفاحة قديمة تتجعد قشرتها .

أما تفسيرها بصورة علمية أكثر فإليكم كيفية شرح الأمر . لقد رأينا أن الرقع القارية تخضع لذبذبات حركات مولّـدة للقارات تنظم الطغيانات والانحسارات على حواف الجيوسنكليناالات التي تفصل بين الرقع القارية في الحين الذي تعدل فيه ظواهر الحت القارية . وبما أن هذه الرقع القارية تتعرض للتقلص العام في الكرة الأرضية ، فهي تخضع من ناحية أخرى إلى حركة شاقولية نازلة تقرب الحواف الجيوسنكلينالية من بعضها بشكل غير محسوس فتنضغط على أثرها الجيوسنكليناالات المذكورة مما يؤدي أخيراً إلى طفح محتواها على شكل سلاسل جبلية (شكل ٢٢١) .



شكل ٢٢١ ـ تشكل السلاسل الجبلية في فرضية التقلّص

وهكذا نرى من خلال هذه النظرية أن ليس هناك تعارضاً بين طبيعة القارات وبين طبيعة القيعان البحرية وأن القارات تستمر مع بنيتها تحت البحار الحالية . ولتفسير بعض التماثلات في الوحيشات في زمن معين ، بين قارتين ، يستعان بافتراض وجود « جسور قارية » انهارت في الوقت الذي انقطعت فيه الاتصالات وحيث تصبح الوحيشات مختلفة .

وقد وجهت انتقادات إلى هذه الأفكار التي ظلت تقليدية خلال زمن طويل . ففي الواقع لا تفسر نظرية التقلص هذه سبب عدم تعرض سطح الكرة كله بآن واحد لالتواءات تظهر دائماً محدودة مكانياً . فبين حافتي جيوسنكلينال منضغط يجب أن تتجه الطيات في كلا الاتجاهين ، على شكل مروحة ، بينما نرى أن التواء سلسلة ما

يكون دائماً وحيد الجانب وكل البنى المروحية المدروسة تعود لظواهر تقبيع أو تقلنس encapuchonnement طيات، متراكبة فوق بعضها البعض (طيات العودة). ولا نزال نجهل ما هي الطبيعة الصحيحة للقيعان البحرية وفيما إذا كانت البنية القارية تستمر فيها، وفرضية الجسور القارية، وفرضية وجود أجزاء واسعة من القشرة الأرضية التي يفترض أنها تنبثق وتنهار، تبدو جميعاً قليلة الاحتمال وعلى خلاف وتعارض مطلق مع المفاهيم الحديثة عن بنية الكرة وتوازن القارات isostasie. وعلى كل حال لا نعرف إلا القليل عن توضعات القيعان السحيقة الحقيقية في زمن الطبقات الجيولوجية، مما يدل على أن القيعان المحيطية لم «تطفو» غالباً، مما يدل بالأحرى على بقائها دوماً على أوضاعها التي هي عليها.

هذا وأن تبرد الكرة ليس بالأمر المؤكد ويتجه الاعتقاد في أيامنا هذه حتى الادّعاء بأن الأرض تتسخن بفعل السخونة المنطلقة من انشطار العديد من العناصر المشعة التي تحتويها الصخور. وفي كل الحالات إذا حسبنا التبرد اللازم ليحصل تقلص قادر على تفسير الالتواءات الكبرى في السلاسل الجبلية نصل إلى أرقام شديدة الارتفاع بحيث يجب بلوغ حوالي ٢٤٠٠° من أجل تشكل الالتواءات الألبية لوحدها، وهو رقم يتعارض إطلاقاً مع كل معطيات الجيوفيزياء.

III ــ فرضية توازن القارات isostasie

لقد سبق عرض هذه النظرية سابقاً (انظر ص ١٦و١٧) وقد عرضها دوتّون Dutton منذ عام ١٨٨٩ واستأنفها مارسيل برتران M.Bertrand عام ١٩٠٠. وبمعزل عن كل فرضية تتعلق بتبرد الكرة وعن طبيعة نواتها المركزية، هناك حركات تجنح لإعطاء الأرض شكلها المتوازن تبدو قادرة بما فيه الكفاية لتفسير نشوء السلاسل الجبلية. ولا يستطيع هذا التشكل التوازني، في حالة افتراض أن الأرض كانت متجانسة، أن يكون سوى مجسم ناقص ellipsoïde ذا دوران منتظم، ولكن بما أنها غير متجانسة، فإن التوازن لن يتم إلّا إذا حصلت انتفاخات حيثما توجد تراكمات من

مواد أقل كثافة، وحصلت منخفضات في النطاقات الأكثر ثقلاً. وهكذا يجد توازن القارات تفسيره لأنه، حسب رأي دوتّون Dutton، صاحب النظرية «هذا التوازن هو شرط توازن الشكل الذي يجنح الدوران عن طريقه لتصغير جسم سيّاري أو كوكبي سواء أكان متجانساً أم لا». بيد أن شروط توازن سطح الكرة تتعرض للتقوض دوماً بفعل الحت الذي يجتث التضاريس القارية ويكدس في المنخفضات الجيوسنكلينالية، ولا يمكن لشروط التوازن هذه أن تستقيم إلّا على اثر انتقال المادة الزائدة نحو الحواف المحيطية، حيث تأتي لتتكدس بفعل الدفعات التماسية على شكل طيات متوازية ومسكوبة في نفس الاتجاه، أي على شكل سلاسل جبلية [1].

لهذا يكون من الضروري أن نقبل هنا بوجود نوع من استمرار في الملامح البنيوية للكرة ولا سيما بالنسبة للقيعان المحيطية وبالتالي أن نقبل بتزايد الرقع القارية ببطء ولكن باستمرار.

وعلى كل يتطلب مفهوم توازن القارات هذا وجود لزوجة إجمالية كبيرة جداً في الكرة ولكن هذا المفهوم يظل غير كاف لوحده لتفسير تعقد الحركات المولدة للجبال، ولكنها تظل مع ذلك عاملاً هاماً يجب أن نحسب حسابه إذا أردنا فهم تشوّهات القشرة الأرضية.

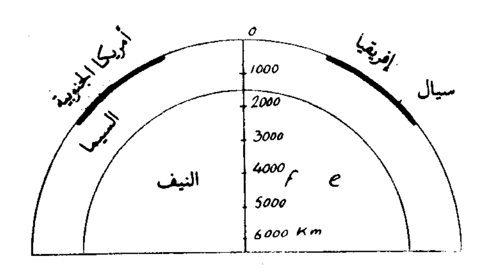
IV ـــ نظرية فيجنر حول انسياج القارات

تستند النظريات السابقة على فئتين من الحوادث الهامة: توازن القارات من جهة، ومن جهة أخرى على الحركات التماسية؛ أي الحركية. ويعود فضل الجيوفيزيائي الكبير آ. فيجنر إلى أنه حاول، منذ عام ١٩١٢، أن ينسّق هذه الأفكار القديمة بحد

(١) وهناك نظرية في نفس المعنى وأكثر حداثة تعود للعالم ف. ب. تايلور تقول، على العكس، بأن علينا أن نبحث عن أصل الجبال في جريان بطيء للقارات نحو المحيطات. وهذه النظرية هي التي وسّعها ر. آ. دالي في كتابه أرضنا المتحركة Our mobile earth في عام ١٩٢٦.

ذاتها، وذلك بتقديم تحليل متآخذ يفسر كثيراً من الوقائع التي ظلت، حتى أيامه، غير مفهومة.

ولفهم نظرية فيجنر جيداً يجب أن نعود إلى ما سبق وقلناه عن أفكار سويس عن التركيب الإجمالي للكرة الأرضية (انظر ص٣٥).



شكل ٢٢٢ ــ **مقطع للكرة حسب الدائرة الكبرى، وذلك بنسب حقيقية** (آ. فيجنر) وتعوم قارات السيال (باللون الأسود) فوق السيما (لون أبيض).

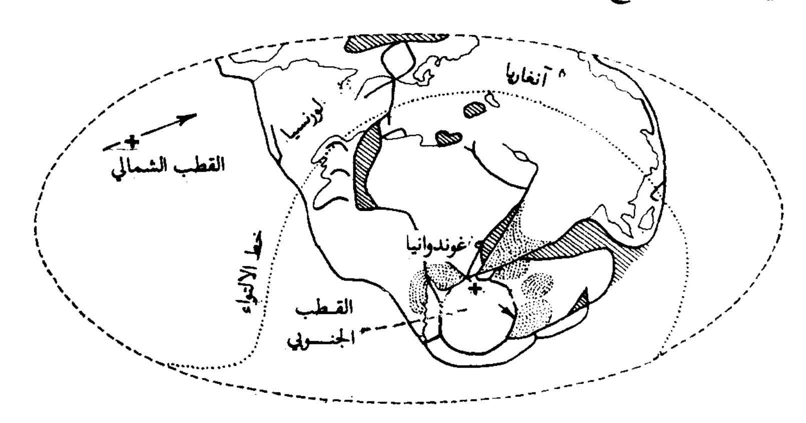
ويعتقد فيجنر أن الركائز القارية تمثل بالفعل أجزاء دائمة من الغلاف الصخري (ليتوسفير) تتغطّى أجزاؤها الهامشية، وقتياً، بطغيانات بحرية، ولكن هذه الأجزاء المذكورة لا تكون ثابتة أبداً. وبالفعل لا يؤلف الليتوسفير؛ أي السيال حسب سويس، قشرة مستمرة فوق السيما، بل أن السيال المذكور، المجزّأ، هو الذي سيشكل الركائز القارية التي تعوم، كما لو كانت أرماثاً أو جبالاً من الجليد، فوق السيما [1] (شكل ٢٢٢).

ولكن هذه الأرماث كانت بالبدء متحدة في نقطة واحدة من الكرة كي تشكل كتلة واحدة أخذت تتفكك تدريجياً بتأثير أسباب لم تعرف تماماً بعد (كتيارات الحملان في السيما). وبعد أن تحررت الأجزاء أخذت بعدئذ تنساح بسرعة متفاوتة في كبرها. وكانت هذه الانتقالات تتم باتجاه الغرب والجنوب، كنتيجة محتملة، حسب فيجنر، لجذب القمر والشمس والقوة النابذة.

وهكذا نجد أن أمريكا بعد أن كانت ملتحمة بالكتلة الأوراسية انفصلت عنها شيئاً فشيئاً ابتداءً من الكاربونيفير ولا تزال حتى الآن آخذة في الابتعاد عنها.

(١) وبذلك يمكن فهم تواتر الارتفاعين الأكثر انتشاراً فوق الكرة: ١٠٠م بالنسبة للقارات، و٥٠٠٠م بالنسبة لأعماق المحيطات.

ونرى من خلال هذه النظرية إذن أن هناك تعارضاً شديد الوضوح بين طبيعة الصخور القارية وبين طبيعة القيعان البحرية. ويمكن اعتبار محيط واحد كمحيط دائم، وبدائي، هو المحيط الهادي[1]، بينما أن المحيطات الأخرى ليست أكثر من شقوق في الكتلة البدائية زاد عرضها بفعل الانسياح. فالمحيط الأطلسي بشكل خاص هو عبارة عن شق هائل بين أوروبا وأمريكا وما علينا إلّا أن ننظر حافات السواحل المتقابلة والمتواجهة على طرفي المحيط لندرك تماماً كيف أنها تتطابق بصورة دقيقة كما لو كانت قطعاً في لعبة المربكة Puzzle. أما فيما يتعلق بالبحر الميت والبحر الأحمر والبحيرات الافريقية الكبرى فهي عبارة عن مرحلة تشكل محيط جديد؛ أي أنها عبارة عن شق آخذ في الكبر والتوسع.

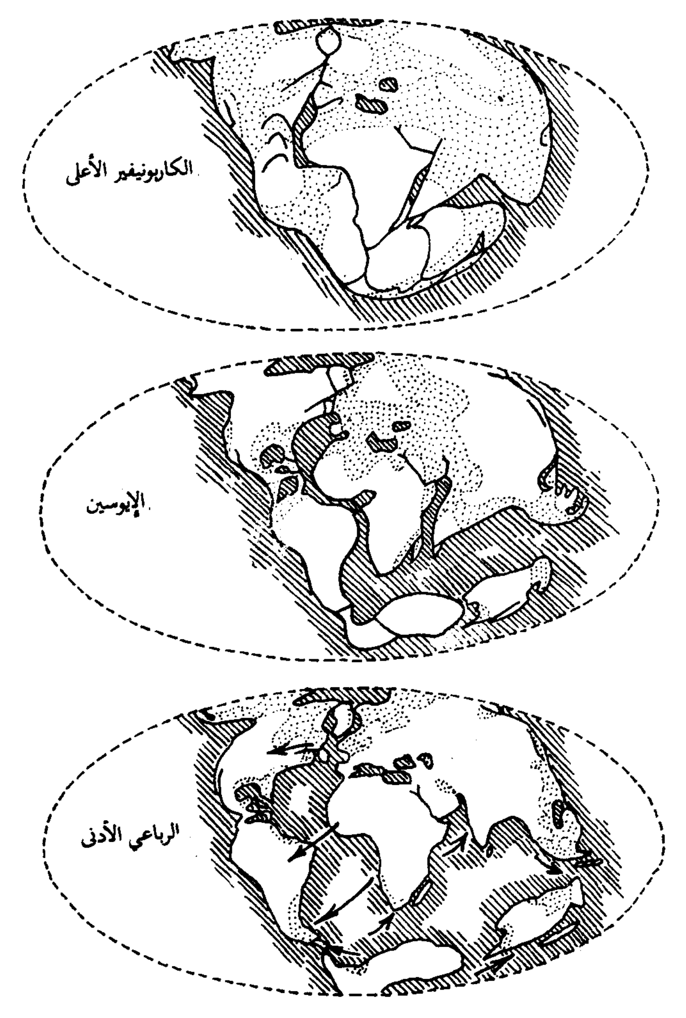


شكل ٢٢٣ ـ العالم في زمن الكاربونيفير حسب فرضية فيجنر ***Wegner***. إعادة تمثيل قارة غوندوانا يفسّر التوزع الحالي للتشكلات الجمودية البرمو ـ كاربونيفيرية (نقاط صغيرة). وترمز الأسهم إلى تنقل القطبين (صليب) بين الكاربونيفير والبرمي الأعلى. وترمز الخطوط الدقيقة إلى البحار القارية أما البحار الواقعة على هوامش القارات أي الفوقارية épicontinentales فلم تظهر بالشكل.

وتسمح هذه النظرية لنا بفهم سبب كوننا لا نعرف وجود رسوبات الأعماق السحيقة في الزمر الجيولوجية لأن الأعماق الكبرى القديمة ظلت دائماً في مكانها الموجودة فيه حالياً. وكل الرسوبات الجيولوجية ليست أكثر من رسوبات فوقارية.

---

(١) وهذا ما يسمح لنا بفهم سبب احتواء هذا المحيط على وحيش غني جداً بالنماذج القديمة المعروفة بحالة مستحاثة خلال الدور الثاني والثالث (أنواع **Nautilus**، **Pleurotomaria**، **Lingula**، **Trigonia** ... إلخ).

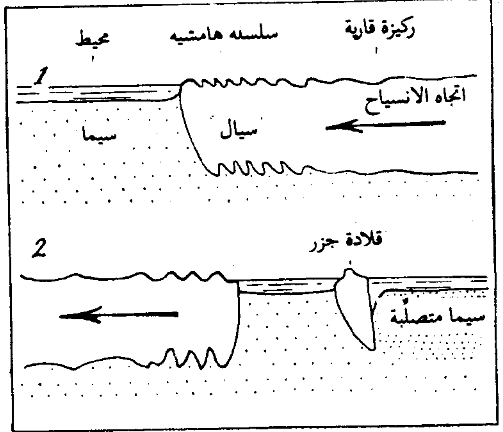


شكل ٢٢٤ ــ تطور القارات بفعل الزحف في فرضية فيجنر.
النقاط ترمز إلى توزع البحار الفوقارية

أضف إلى ذلك أنه ليس من الضروري أن نستعين بتصور وجود جسور أو انهيارات بين القارات لتفسير بعض العلائق الوحيشية أو النبيتية خلال بعض حقب تاريخ الأرض، لأن الكتل المفصولة عن بعضها حالياً كانت متحدة بالفعل بالماضي. وهكذا يفسر فيجنر أسطورة قارة غوندوانا التي ابتدعها الجيولوجيون لشرح صلات القربى البيولوجية المدهشة التي قامت خلال البرمو ــ كاربونيفير بين أمريكا الجنوبية وشبه

القارة الهندية ومدغسكر وأستراليا. ولتفسير التجزؤ الحالي، كان العلماء يقولون بحدوث الانهيار، في حين يربط فيجنر بالخيال كل هذه الأراضي ويُظهِر بأنها انفصلت في وقت ما (شكل ٢٢٣ و ٢٢٤).

ويجب أن نقر بأن هذه النظرية تفسر بصورة مرضية التوزع الماضي والحالي لكثير من النباتات والحيوانات. ولهذا لقيت الكثير من الرواج لدن علماء النبات أكثر مما لاقت من لدن الجيولوجيين الذين أظهروا تجاهها بعض التحفظات[1]. ولنتأمل الآن كيف يفهم فيجنر، من خلال فرضيته، تشكل السلاسل الجبلية.

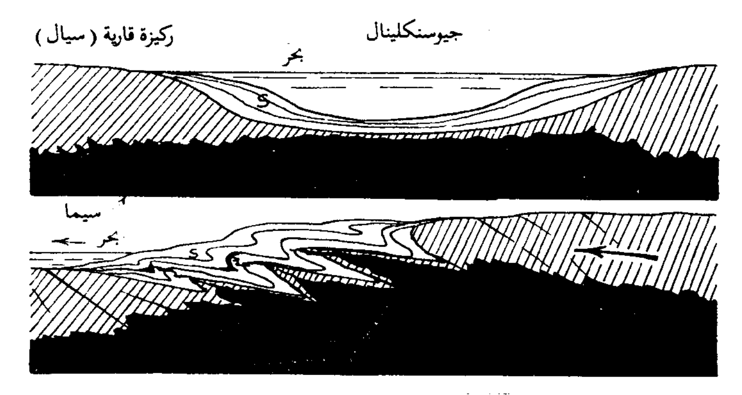


شكل ٢٢٥ ـ تشكل السلاسل الهامشية وقلائد الجزر في فرضية فيجنر.

إن بعض السلاسل الهامشية bordières، كجبال الآند والروشوز، ليست أكثر من تظاهرة على المقاومة التي قابلت حركة الرمث radeau القاري الزاحف فوق السيما (السلاسل التمهيدية liminaires حسب آرغان E.Argands) (شكل ٢٢٥). فقلائد الجزر، كالجزر اليابانية مثلاً، ليست أكثر من محدبات مركبة جبارة اي géanticlinaux طافية، حسب النظرية التقليدية، ولكن يجب فهمها على أنها سلاسل ساحلية خلفتها قارة منساحة وظلت ملتصقة، عالقة في سيما أكثر قساوة.

(١) وهكذا أصبح من المقبول الآن أن تداخل افريقيا في امريكا لا يمكن فهمه دون برم هام وحذف قسم كبير من امريكا الجنوبية. وفضلاً عن ذلك فإن القياسات الحديثة لخطوط الطول لا تدعم الزحوف القارية التي قال بها فيجنر. أما فيما يتعلق بالتماثلات في العالمين الوحيشي والنبيتي فيبدو أن الاتفاق غير واقع دائماً حول عمر التشكلات المقارنة. وأخيراً لا تزال هناك حاجة لتفسير الأحجية الزاعمة بتجمع بدائي للسيال في منطقة واحدة من سطح الكوكب الأرضي.

أما فيما يتعلق بالسلاسل الجيوسنكلينالية، التي تشتمل على أقصى شدة في الالتواءات، فهي تتولد بفعل انضغاط الحفرة الجيوسنكلينالية (التي هي نفسها ناتجة عن مط السيال بين قارتين بحالة انسياح) بين رِكيزتين أو مكسرين môles قاريين تحرضهما حركة غير متعادلة (شكل ٢٢٦). فإذا توقفت القارة الرائدة أو إذا أدركتها القارة الأخرى، فإن الجيوسنكلينال ينضغط وينسكب محتواه على شكل طيات نائمة وطيات مجروفة Charriages فوق أحد الترسين وفي اتجاه معين هو نفس اتجاه الانسياح. وعلى هذا الأساس فسَّر آرغان Argand جبال الألب، والذي جعل من نفسه الداعية المتحمس للأفكار الفيجنرية، على أنها ناتجة عن انضغاط الجيوسنكلينال الألبي بين الترس الأوراسي والترس الافريقي الذي أدرك الأول، وأن الكتلة الهندية المنخفضة التي كانت في طريقها نحو الشمال الشرقي أخذت بالغوص تحت الكتلة الآسيوية مما أدى الى انبعاث جبال هيمالايا والهضبة التيبتية.



شكل ٢٢٦ — **حفرة أرضية (جيوسنكلينال) في فرضية فيجنر**. إنها نطاق سيالي ممطوط ينخفس في السيما. وفي الأسفل التواء الجيوسنكلينال ويلاحظ هنا حقنات السيما في الزمرة الملتوية S.

ولم تنج هذه النظرية، المغرية جداً، من إثارة عدد من الاعتراضات من الناحية الجيولوجية والبانتولوجية ولكنها تقدم بلاريب عدداً كبيراً من الأمور التي ظلت غير مفسرة حتى ظهورها. وعلى كل حال، فإن فضلها الكبير هو أنها وجدت في الانسياح القاري سبباً مقبولاً للقوى المولدة للجبال.

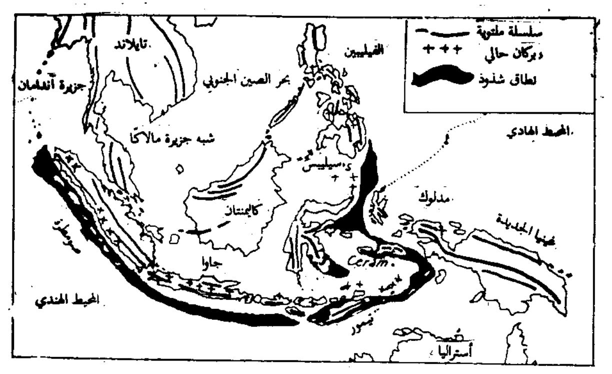
٧ ــ فرضية فينينغ ــ مينسز ، دالي ، هولمز

وتستند على ملاحظة الشذوذات الكبرى في التوازن القاري isostasie (انظر سابقاً ص١٦).

وفعلاً أصبحنا نعرف ، وذلك بفضل أبحاث فينينغ ــ مينسز وبولار Bullard ، **نطاقات كبيرة جداً لتفاوت التوازن القاري** ، أو بعبارة أخرى المناطق التي تكون فيها شذوذات التوازن القاري قوية جداً ، كالجزر الأندونيسية وجزر الانتيل . فهذه النطاقات تكون عموماً مقر زلازل ونشاط بركاني كبير حديث أو حالي .

فمن المعروف أن سواحل المحيط الهادي ، كما هو الحال بالنسبة لأقواس الجزر في المحيط الهادي الغربي ، تتصف بوجود سلاسل ملتوية حديثة ، وبوجود خطوط تمتد حسبها البراكين التي لا تزال في حالة نشاط وبمراكز فوقية اهتزازية ، وبالتالي ، تمتد بموازاة هذه السلاسل الساحلية حفر محيطية ضيقة وسحيقة .

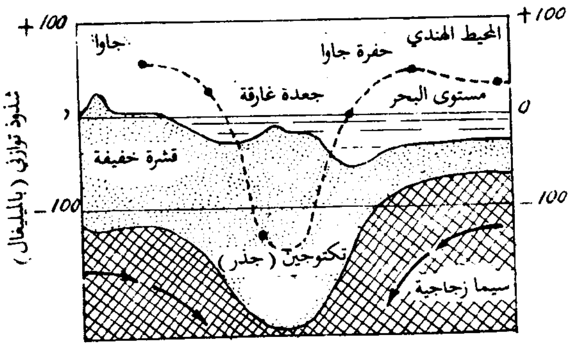
بيد أن أبحاث قياسات الثقالة التحتمائية التي قام بها فينينغ ــ مينسز قد برهنت بكل جلاء على أنه ابتداء من صومطره حتى الفيليبين ، يوجد شريط طويل ورفيع ومتعرج ذو شذوذات قوية سلبية في التوازن القاري ، يفصل بين نطاقين يتصفان بشذوذات **إيجابية قوية ، تتجاوز أحياناً ١٠٠ ميلليغال milligals** (شكل ٢٢٧) .



شكل ٢٢٧ ــ النطاق الكبير للشذوذ السلبي في جزر أندونيسيا (لون أسود) (حسب نظرية هولمز المستندة إلى أبحاث فينينغ ــ مينسز).

وهذا الشريط الذي يتراوح عرضه بين ١٠٠ و ٢٠٠كم والذي يتبع بصورة موازية لتقعر قوس الجزر المذكورة، يطيف بجزيرة صومطره وجاوا، ويجتاز جزيرة تيمور وينعطف نحو جزيرة سيرام قبل أن يبلغ جزيرة سيليب. ولكن يجب أن نلاحظ أن على مدى هذه المسافة، التي تبلغ حوالي ٥٠٠٠ كم، ينطبق هذا الشريط دائماً على القيعان الضحلة أو على أرخبيلات الجزر ويتحاشى الأخاديد السحيقة تحت البحرية التي تطيف به. لهذا يبدو من العسير تفسيره بنقص الكتلة، لأنه على العكس، هناك بالأحرى إفراط في الكتلة، فضلاً عن أنه يجب أن نلاحظ فقدان البراكين في نطاق الشذوذات السلبية ذاته.

وقد أظهرت الدراسة الجيولوجية لهذه الجزر الواقعة في نطاق الثقالة السلبية أن كل هذه المناطق قد شهدت منذ الميوسين حركية كبيرة. ففي تلك الحقبة حدث الالتواء الرئيس، المصحوب بفوالق (صدوع) مائلة وبأغشية جرف. ومن ثم، وفي البليوسين، تعرضت هذه الجزر للغمر بالمياه، وبالتالي، ابتدأ تجزؤها بفضل كسور متوازية حددت الحجرات التي استفحل نهوض بعضها بينما كانت الأخرى تتعرض للانهيار. وقد بلغ الإنهاض القاري، خلال الرباعي، درجة جعلت، مثلاً، بعض الأرصفة المرجانية الحديثة وكذلك مصاطب تحتمائية ترتفع في جزيرة تيمور إلى ارتفاع بلغ ١٢٠٠م في حين كانت بركنة حادة تتّقد في صومطره وجاوا، والتي لا تزال مستمرة حتى أيامنا هذه، شأنها فوق الجزر الأخرى من القلائد الأندونيسية.



شكل ٢٢٨ ــ شرح هولمز لنطاق الشذوذ السلبي المار من جنوب جزيرة جاوا والذي اكتشفه فينينغ ــ مينسز. ونكون هنا في معرض سلسلة جبلية في حالة مخاض.

وكانت النتيجة الإجمالية لهذا التكتونيك، الذي أيدته القياسات، أن حدث خلال الثلاثي انكماش كبير جداً للقشرة الأرضية في هذه المناطق. وتشير التقديرات إلى أن هذا التقلص قد بلغ ٤٥ كم وأن كتلة التعويض الملحوظة ذات عرض قدره ٦٠ كم وعلى عمق ٢٠ كم. ونعثر على هذه الصفات على طول خط الشذوذات المشار إليها.

أضف إلى ذلك أنه أمكن التعرف على نطاق آخر ذي شذوذات سلبية لا يقل أهمية، لأنه يمتد على أكثر من ٤٠٠٠ كم في خارج قوس جزر الأنتيل، ماراً من كوبا، ومن ساحل الغويانة وجزر ترينيداد ومن الجزر المماسية للساحل الفنزويلي.

وقد أمكنت الإشارة للمضاهاة القائمة في هذا النطاق مع القوس الكارباتي. غير أن فينينغ ـــ مينسز لا يرى من أجل تفسير مثل هذه النطاقات من الشذوذات السلبية أية فرضية سوى تلك التي تقوم على افتراض أن القشرة السيالية تستطيع، وذلك تحت تأثير أسباب لا تزال تتطلب التحديد، أن تخضع محلياً لانعطاف ثم تتحول إلى عقفة ينتهي بها الأمر إلى الغطس في السيما ضاغطة الرسوبات الموجودة فيها (شكل ٢٢٨). ذاك هو ما سندعوه، في تعابير جيولوجية، مقعر السيال في السيما وبذلك نلتقي هنا مع مفهوم معروف جيداً، وهو مفهوم المقعر الأرضي (الجيوسنكلينال) والذي سبق لها الكلام عنه آنفاً، والذي كان قد تم استنتاجه في الماضي من ملاحظات ستراتيغرافية وتكتونية.

وقد تـمَّ عرض المقارنة على الفور واستخدمها الجيولوجيون لتفسير تكوين بعض سلاسل الجبال. ولم يتردد **هولمز**، وهو من أوائلهـم، في التعرف في النطاقات ذات الثقالة الناقصة على نظير مقعر أرضي خلال الانهراس، يتمخض عن قوس جبلي ملتـوٍ، وكانت فكرة لم تتأخر عن الانحياز إليها الغالبية العظمى من الجيوفيزيائيين.

ومنذ ظهور دراسات **فينينغ ـــ مينسز** تعرض مفهوم الحركية الذي اقترحه **فيجنر**، والذي استغـلّـه، مع الكثير من البريق، **اميل آرغان**، أقول تعرض لتعديل جذري. وهكذا أصبح من الـواجب إعـادة النظـر بمفـاهيم التـروس القاريـة، و «المكابس»، والحركات المماسية المولدة للالتواء، وأصبح البحث عن محرك الظاهرات

التكتونية الكبرى يتجه أكثر فأكثر لما تحت المنطقة الملتوية؛ أي في القشرة السيالية وحتى لأكثر عمقاً من ذلك. ولا تزال الآلية التي تحكمت في التواء حُفر المقعرات الأرضية تتطلب الايضاح.

ولكن يبدو من المؤكد منذ الآن أن حفرة مقعر أرضي هي عبارة عن نطاق فريد من القشرة حيث يستبعد فيه مط السيال بل ينثني على شكل عقفة سنكلينالية تغطس حسب عمق متفاوت في السيما، وهذا ما يفسر الشذوذات التوازنية السلبية الملحوظة.

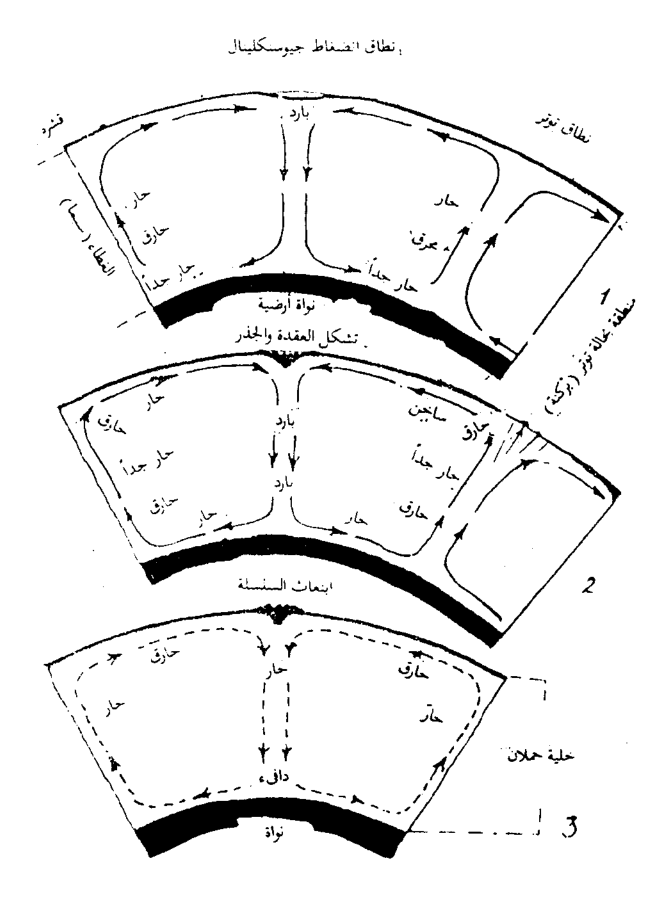
ويؤدي تقارب حافتي العقفة، على اثر تقاربهما، إلى التواء الرسوبات التي يشتمل عليها هذا المنخفض، ذاك إذن مسلك الحركات القشرية، وبصورة عامة، مسلك الظاهرات العميقة هي التي ستعمل على تحديد هيئة ومسار انسكاب الطيات التي ستتشكل على هذه الصورة.. إذن لم تعد القضية قضية فكّي ملزمة، ومكابس، وقضية قارات بحالة انسياح، و «اتجاه الدفعة» حسب تعبير عزيز على الجيولوجيين التكتونيكيين.

ولكن سؤالاً يطرح نفسه على الفكر حالاً: ترى ما هي إذن طبيعة القوى القادرة في هذه الحالة على لوي الليتوسفير محلياً على شكل عقفة جيوسنكلينالية؟

وهنا ينزوي الجيولوجي أمام الجيوفيزيائي وإن كان يظل محتفظاً بحق المراقبة ونقد النظريات المقترحة. وفي الواقع كان هناك جيولوجي، وهو آمفرير، الذي كان في طليعة الذين وضعوا إصبعهم على الحل مع فرضية عن تيارات ما تحت القشرة القادرة على أن تجر العقفات السيالية باتجاه العمق. ولم يلبث كروس Krauss أن استأنف الأخذ بهذه الفرضية في مؤلّف، كثر الجدل حوله، حيث يستند، في تفسيره تشكل الجبال على وجود تيارات مهلية (ميغماتية) هابطة «نطاقات امتصاص» حقيقية تؤدي، عن طريق الجرف السفلي، إلى نشوء طيات نائمة وأغشية تغطية.

ويبدو، وذلك منذ قليل، أن التفاهم قد تحقق حول وجود مثل هذه التيارات الحرارية التي تتجلّى في السيما الزجاجية. ولا يزال سبب أمثال هذه التيارات موضع

جدال من جانب الجيوفيزيائيين لأنه يشار إلى النشاط الاشعاعي (وجود عناصر مشعة موزعة بشكل متفاوت)، وارتكاسات بين الكواكب، واختلافات في كثافة السيما، وتبدلات في الحرارة ... إلخ. ومهما كان عليه الأمر فنحن نعرف ضمن الطبيعة الحالية، في الجو أو في السوائل، وجود تيارات من نمط خاص تدعى «تيارات الحملان» المتسببة عن اختلافات مكانية في الحرارة. ونعرف منذ ظهور دراسات الفيزيائي بينار Benard أن هذه التيارات تؤدي في هذه السوائل لنشوء «خلايا الحملان» تتولد فيها حركات ذات مسلك دوراني.



شكل ٢٢٩ ــ قطاعات ثلاثة في النطاق الخارجي من الأرض تظهر فيها العلاقات الممكنة بين تكوين الجبال ,وجود مفترض لتيارات حملان (عن هولز).

وهكذا يمكن إذن تصور ، وذلك في بعض مناطق النطاق الزلزالي الزجاجي ، وجود خليتين عملاقتين متجاورتين تعملان في اتجاه متعاكس (شكل ٢٢٩) . وقد تقود آلية كهذه القشرة السيالية المتنضدة والملتصقة بتلك السيما بصورة متفاوتة ، وذلك حسب شريط طويل وضيق ، وهي التي دعيناها بالعقفة الجيوسنكلينالية السيالية .

وقد بلغ الأمر بأن تم حساب سرعة التيارات التي تتمخض عن ذلك ، وهي سرعة تكون ضعيفة طبعاً : ويرى بيكيريس وفينينغ ـــ مينسز ، أن هذه السرعة تقدر بحوالي ١ سم بالعام وذلك بالنسبة لخلية تقع على عمق ١٢٠٠ كم وبحوالي ٥ سم عندما تكون هذه الخلية على عمق ٢٩٠٠ كم . أما ج . **غوغل** فقد قام من جانبه بحسابات قادته لأرقام من المستوى ذاته ، وحتى على عمق ٨٠ كم .

وما أن تتشكل العقفة حتى تغوص تدريجياً في السيما ، ويجب أن تتم بقية الظاهرة حسب النظام المشار إليه آنفاً ، ويمكن القول أننا نشهد ، في الجزر الاندونيسية بشكل خاص ، ولادة سلسلة جبلية ، وأن المرحلة الحالية تبدو متقدمة جداً في سياق السيناريو ويجب أن تنطبق على صعود عام في النطاق الملتوي وعلى بداية عودة الاتزان التوازني (إيزوستاتيكي) .

هل يعني هذا أنه كان لكل السلاسل الجبلية الأصل هذا نفسه ؟ من المحتمل أن يكون الجواب على ذلك بالنفي ، لأن الطبيعة معقدة ومتنوعة في وسائلها . ولكن من المحتمل جداً أنه يجب البحث عن تكوين سلاسل جيوسنكلينالية في هذا الاتجاه ، وهو ما سبق أن رأيناه مثيراً جداً للاهتمام .

ومن الطبيعي أنه كانت هناك تحسينات أو متغيرات مقترحة على الموضوع الذي فرغنا للتوّ من عرضه .

وعلى هذا الشكل يفسر ر . آ . دالي و جـ . هـ . ف . أومبغروف ، ومن بعدهما غوغل ، تشكل نطاقات ملتوية جيوسنكلينالية بفعل انتفاش الغرانيت المنصهر وصعوده في الجزء المحوري الأكثر عمقاً في العقفة السيالية ، وهذا ما يقودنا بصورة غير

مباشرة، وذلك كما سبق لي وقلت آنفاً، إلى النظرية القديمة، التي كثيراً ما حوربت، وهي نظرية النهوض بفعل اندساسات غرانيتية وتفسر أن المرحلة الاحتدامية في عمليات تكوين الجبال تكون دوماً مصحوبة بحقنات سيالية حامضة. وقد تنشأ أيضاً في هذه الفترة كل الصخور المختلطة من السيال ومن السيما، وذلك حسب طريقة «العدوى» التي عرضها بتروغرافيون من أمثال كينيدي وآندرسون وريتمان وهولمز. وعلى كل حال لم يتوصل الأخصائيون بعد إلى الطبيعة الصحيحة لهذه الظاهرات العميقة التي لا يطالها تحليلهم، لأن البتروغرافيين الضليعين مثل هـ. بكلوند و ويغمان يرون بأن ليس هناك من ظاهرات انصهار، بكل ما في الكلمة من معنى، فوق جذور السلاسل الجبلية بل بالأحرى تشرب غرانيتي تدريجي (غرنتة كما يدعوها المؤلفون القدامى) حسب أسلوب يشار إليه حالياً بعبارة «مغمتة».

ولنضف إلى ذلك أنه جرت تجارب مفيدة جداً للتحقق من نظرية فينيغ — مينسز قد جرت فوق نماذج مصغرة على يد د. غريغس.

VI — فرضيات جريان كتل سطحية بفعل الثقالة

وتستطيع هذه الفرضية التي نادى بها شاردت بدءاً من عام ١٨٩٣ و م. لوجون (١٨٩٦) ثم من جانب جينيو و ل. موريه و د. شنيغانز (١٩٣٧) والتي دعمت تجريبياً على يدر ريبر، تستطيع أن تتلخص على الصورة التالية: يكون بمقدور الرسوبات الممتدة على مساحات كبيرة أن تنفصل عن قاعدتها، وتنزلق أحياناً لمسافات بعيدة جداً مؤدّية لنشوء التواءات وحتى لأغشية جرف حقيقية تسير لتتكدس في المنخفضات. وهكذا كان شاردت يفسر أصل أغشية مقدمة الألب، المنفصلة عن أساسها المتبلور والتي تم نقلها لمسافات بعيدة.

وقد روجعت هذه الفرضية من طرف هارمان (١٩٣٠) وتقوْنَنَت على يده لتتخذ إسم نظرية الذبذبة. ويرى هذا المؤلِّف أن كل التواء يبدأ في الأصل على شكل

تقبُّب شديد في القشرة الأرضية، وهو ما يدعوه **الورم الأرضي** من فوق خواصر هذا التورم ونشاهد انزلاقات الطبقات التي ستؤدي لتشكل جعدات تدرسها الجيولوجيا التقليدية وما ذلك التورم إلا عبارة عن تكتونيك ثانوي، ونتيجة لتشكل الأورام الأرضية، والتي تتمخض بدورها عن تكتونيك بدائي انطلق بفعل تيارات مهلية (صهارية) صاعدة [1].

وهناك حقاً نصيب كبير من الحقيقة في هذه الفرضية القائلة بجريان كتل سطحية بفعل الثقالة، والتي تتمتع حالياً بحظوة كبيرة لدى التقنيين منذ ظهور دراسات جيولوجيي غرينوبل عن منطقة جبال غابانسيه (قرب مدينة غاب Gap). ولكن هذه الفرضية لا تكون مقبولة إلا انطلاقاً من الفترة التي يتشكل فيها مستوى مائل ستجري فوقه هذه الكتل، وذلك على أثر ظاهرات مولدة للجبال سبق أن حاولنا تفسيرها، والتي كنا نجنح لأن نعزوها لقوى مماسية.

وتفسِّر هذه الفرضية بشكل صحيح، الطيات السطحية أو طيات بشرة الأرض التي تنجم عن تجعد رزمة من طبقات انفصلت عن قاعدتها (سلاسل ما تحت الألب، جبال الجورا)[2] (شكل ٢٣٠) وحتى بعض أغشية الجرف (بريئالب، الفليش ذو أشباه الدوديات Helminthoïdes في امبرونيه ... إلخ). ولكنها تكون أكثر

---

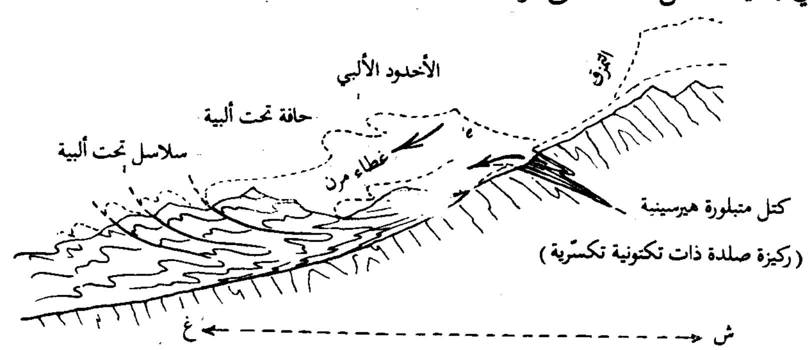
(١) ولنلاحظ بالمناسبة بأن كراوس (١٩٣٦) يرى في هذه الأورام الأرضية؛ أي هذه المولدات للجبال، على خلاف ذلك، عبارة عن «نطاقات امتصاص» ناتجة عن تيارات صهارية هابطة، أنتجت فوق خواصرها، بفعل «ماتحت الجرف» كل النماذج المحتملة من الالتواءات. بيد أن هذه التيارات الصهارية أو المهلية، والتي ورد ذكرها لضرورات القضية، لا تزال افتراضية لحد بعيد. انظر جينيو: **تركيب تكتوني جديد عن جبال الألب، ومؤلف** كراوس: «Der bau Der Gebirge» (مجلة الجغرافيا الألبية. عدد ٢٧، ١٩٣٩) و: **بعض تأملات عن النظريات التكتونية الحديثة** (دراسات مختبر غرينوبل، ٢٣، ١٩٤٢)، وغابنوبان: **بعض مشكلات تكتونيك الجريان في سويسرا الشرقية** (نشرة المختبر الجيولوجي لجامعة لوزان. رقم ٨٠، ١٩٤٥).

ولقد سبق لنا أن رأينا آنفاً أن السلاسل الجيوسنكلينالية الملتوية قد تطفو نتيجة توازن اتزاني (إيزوستاتي) بسيط بمجرد أن تكف قوى الانضغاط على القشرة السيالية عن العمل (ص ٥٨٣).

(٢) إن حملة أعمال السبر التي تمت فوق الهامش الغربي لجبال الجورا، بين لونس لوسونييه و بوليني (النطاق المدعو «كروم العنب»)، بهدف العثور على الطبقة الحاوية على الفحم الكاربونيفيري لمنطقة لونس لوسونييه، أقول قدمت هذه الأعمال حججاً داعمة لهذه الفرضية، والتي تقول أن هذه السلسلة هي غشاء انزلاق حقيقي انفصلت

صعوبة في قابليتها للتطبيق في الحالة التي يكون فيها الأساس القديم قد اشترك ذاته في الالتواء (شفرات وأزاميل متبلورة) .

وهي تسمح من ناحية أخرى بتجنّب المشكلة العسيرة أي تجذير أغشية الجرف والتي لا بد وأن تطرح نفسها في فرضية الحركات المماسية ؛ ولكنها أصبحت تفقد الآن سبب وجودها إذ ليس هناك من جذور ، نظراً لأن غطاء الكتل القديمة قد انزلق ككل . وفي الوقت ذاته يمكن تفسير المساحات الواسعة العارية في بعض الكتل الجبلية المتبلورة ، كما في جبال الألب الهامشية والتي كانت تعزى إلى الحت لوحده (شكل ٢٣١) . ولما كان الأمر عبارة عن تمزق الغطاء والذي توسع بفعل الانزلاق فإن تدخل الحت يصبح عديم الجدوى تماماً أو على الأقل ثانوياً . وعلى هذا يصبح الاخدود الطويل في مقدمة الألب ، والذي يقع تحت هيمنة حافة مقدمة الألب ، عبارة عن واد تمزّقي بسيط عمل الحت على توسيعه .



شكل ٢٣٠ ــ **التواء سلاسل مشارف الألب أو ماتحت الألب في فرضية جريان الكتل السطحية بفعل الثقالة .**

ولكن المشكلة الكبرى هنا تظل دوماً هي مشكلة إمكانية انزلاق صخور صلبة كصخورنا فوق المنحدرات وان تلتوي كالأجسام اللدنة المألوفة . ولحسن إدراك ما يمكن

عن مستوى الترياس الحاوي على الملح . وبالفعل فإن سلسلة الجورا تطفح فعلاً لمسافة بضعة كيلومترات فوق ثلاثي منطقة بريس Bresse ، وهي بنية كان من المستحيل استنتاجها من التدقيق في خرائط فرنسا الجيولوجية (انظر **الاجتماع الاستثنائي للجمعية الجيولوجية الفرنسية في الجورا الفرنسي ــ السويسري** . نشرة الجمعية الجيولوجية الفرنسية . مجلد ١ ، ١٩٥١ ، ص٧٩٨ ــ ٨٠٣) .

أن يحدث يجدر بنا أن نتذكر أن الاختلاف بين صلب وبين سائل ليس سوى قضية قوى وزمن.

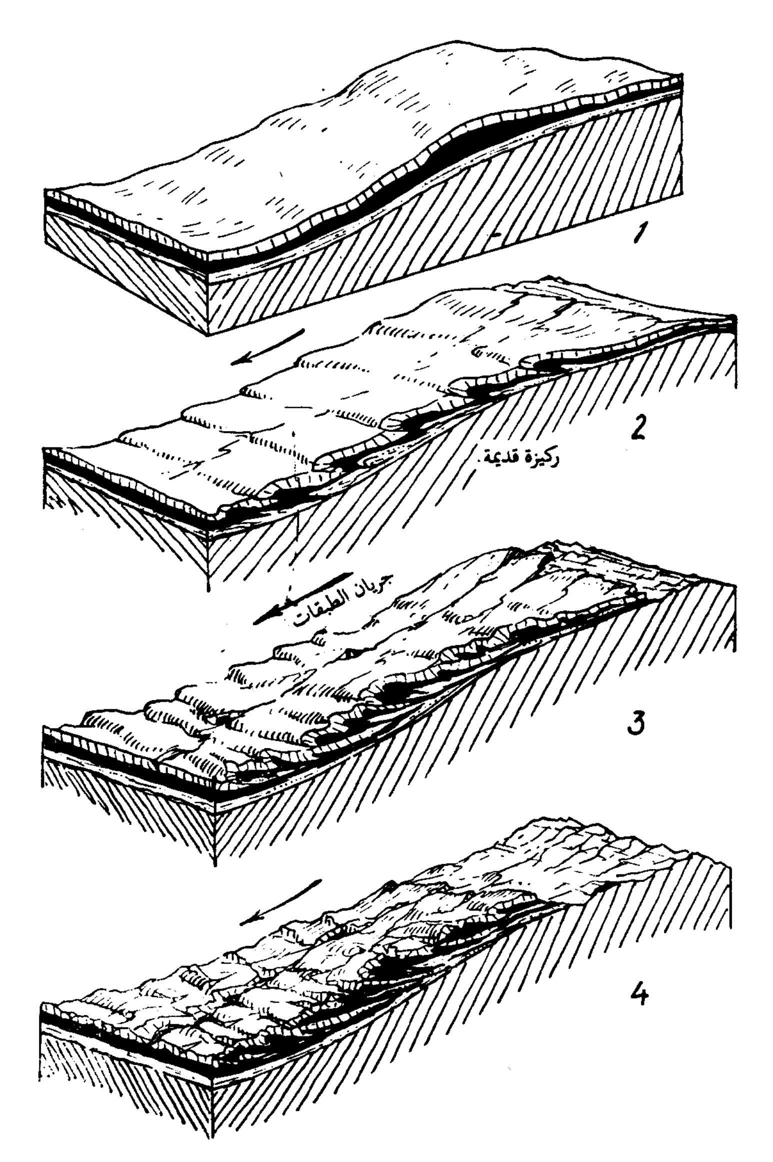
ويمكن القيام، في هذا المعنى، بمقارنة موفّقة مع جليد الجموديات. فعلى الرغم من المظهر الصلب لهذا الجليد فإنه يجري بصورة غير محسوسة فوق منحدر يكون أحياناً ضعيفاً جداً. ويمنحه هذا الجريان الشرائحي مظهراً شرائطياً، كما يستطيع هذا الجليد الشرائطي، وذلك في الأجزاء الجبهية من الجمودية، أن يلتوي بصورة فوضوية تذكرنا ببعض مشاهد الفليش ذي أشباه الدوديات Helminthoïdes في أغشية الجرف بمنطقة امبرونيه ـــ أوباي.

ومع ذلك يكون سطح الجمودية عديم الانتظام للغاية، فحتّ مياه الذوبان، وانقطاعات الميل الفجائية، تخلق فيها العديد من الشقوق العميقة. وتتوافق كل هذه الظاهرات تماماً إذا ماأدخلنا عامل الزمن. فالحت السطحي يتقدم بسرعة أكبر من سرعة جريان الجليد وتصلح هذه الملاحظة للتطبيق على جبال الألب «تبدو أشكالها للجوّال البسيط ثابتة أزلية وجامدة، ويراها الجغرافي وكأنها تتعرض للقضم والتحفير بلا هوادة بفعل الحت، ولكن الجيولوجي هو وحده الذي يستطيع أن يدرك الجريان المهيب والبطيء، إلى الحد الأقصى، والذي يقوم شيئاً فشيئاً بتغضين طبقاته فوق سطح انفكاك» (م. جينيو).

وبالاختصار يبدو تكتونيك الجريان في الوقت الحاضر كأحد العوامل الجوهرية، والمعترف به بالإجماع، في تشكل بعض الالتواءات الجبلية. ولكنه لا يستطيع في مجمل سلسلة كبيرة (السلسلة الألبية مثلاً) أن يفسّر سوى تفاصيل البنية (ولكن أقلها أهمية بالواقع)، لأنه لا يتدخل إلا فوق سفوح التورم المنتصب وذلك بفعل وعن طريق قوى التكتونيك المولّد التقليدي للجبال [1].

وقد سبق للعالم إ. غانيوبان أن كتب مع كل الصواب «لا يمارس هذا التكتونيك دوره إلّا في مجال محدود؛ أي على فائض المادة التي عملت الانضغاطات

(١) وهذا ما تمت محاولة وضعه بصورة جلية في فيلم سينمائي الذي سبق لنا الكلام عنه (ص ٥٦٧).



شكل ٢٣١ ــ رسم تبياني لآلية تكتونيك جريان الكتل الصخرية السطحية بالثقالة فوق سفوح سلسلة فتية. ويمثل اللون الأسود الطبقة اللدنة أو الحاوية على الملح التي يتم على مستواها انفصام الطبقات (انفكاك) الذي أدى إلى تشكل موجات صلبة (طيات) وإلى تكدسها باتجاه خارج السلسلة والتعرية التدريجية في الأجزاء العليا والمتبوعة بالحت. ولنضف إلى ذلك أن مجموع هذا الغطاء الرسوبي المنزلق والملتوي قد يخضع، وذلك في سلسلة نمط ألبي، إلى تشوه تالٍ (كانتصاب الطبقات مثلاً) والذي يمثل هنا، بفعل تجزؤ الركيزة وبحركات اتزانية تفاضلية تصيب الكتل (بلوك) المتشكلة نتيجة ذلك.

العظيمة في مركز السلسلة على جعلها تتجاوز إطار المقعر الأرضي القديم». وفي هذه الفرضية لا تكون أغلبية جبالنا بالتالي أكثر من انزلاقات صخور جسيمة قديمة جداً، ولكنها انزلاقات انسابت مع بطء أقصى، ذلك لأن انطلاقها يعود، على ما يحتمل، إلى الأوليغوسين وليس هناك أي دليل على أنها قد استقرت حالياً.

VII ــ تطبيق المعطيات السابقة على سلسلة من نمط ألبي

إليكم كيف يمكن مواجهة التأريخ التكتوني في سلسلة جبال متناظرة من نمط جيوسنكلينالي كجبال الألب الفرنسية، وذلك في فرضية فينينغ ــ مينسز وجريان كتل الصخور بفعل الثقالة.

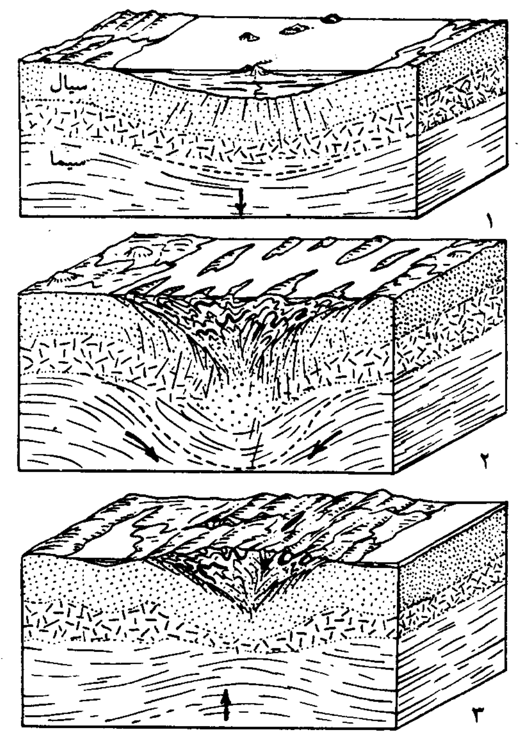
وسيمتد هذا التأريخ على مدة كبيرة جداً، لأننا إذا اتخذنا كنهاية للمقارنة تاريخ المقعر الأرضي الألبي، فإن تكوين سلسلة كهذه سيكون مفرطاً في طوله وقد يبلغ مدة تتراوح بين ١٥٠ و ٢٠٠ مليون سنة (بداية اللياس حتى الحقب الحالي). وإليكم الأطوار الرئيسة (شكل ٢٣٢، ٢٣٣ و ٢٣٤ في حين ينطبق الطوران الأخيران على حالتين ملموستين).

١ ــ **ولادة الضغوط** على طول نطاق المقاومة القشرية الضعيفة وتحت تأثير تيارات الحملان.

٢ ــ **تقعر القشرة** حسب هذا النطاق وتميز مقعر أرضي متطاول. قدوم البحر (طغيان)، وبداية تدخل ظاهرات الترسب. وتقوم انبثاقات صهارية سيماوية على تشكيل عروق طبقية (سيل) أو حتى تشكيل جزر بركانية ذات لابات أساسية (قاعدية) (شكل ٢٣٢).

٣ ــ **تشكل عقفة جيوسنكليناليه** بفعل تعمق المنخفض وتقارب الحافتين. بداية ظاهرات الالتواء التي قد تتجلى في البداية على شكل سلسلة أو عدة سلاسل متطاولة.

هذا وتساعد التوترات الشديدة، التالية لذلك، التي تحصل حينذاك على الرقع القارية، الواقعة على طرفي المقعر الأرضي الآخذ بالانضغاط، على البركنة التي تكون قاعدية أي أساسية basiques على العموم.



شكل ٢٣٢ ــ أطوار ثلاثة في تشكل سلسلة جبال متناظرة (نقلاً عن أومبغروف لتوضيح نظرية دالي).

١ ــ تقعر القشرة وتشكل مقعر أرضي (جيوسنكلينال). (ويشير اللون الأسود إلى انبثاقات مهلية من السيما).

٢ ــ تشكل العقفة وغطس القشرة السيالية في السيما، بداية الالتواء (السلاسل المتطاولة) وذوبان الأجزاء العميقة.

٣ ــ صعود الصهارات (المهل) الجديدة المنشأ واندمال القشرة العميقة، وبذلك تشكلت السلسلة واندحر البحر نحو الأخاديد الجانبية.

٤ ــ **الطور الاحتدامي**، الناجم عن تزايد الضغوط وعن تزايد سرعة حافتي العقفة الجيوسنكلينالية اللتين يبلغ بهما الأمر حد المواجهة بصورة شبه كاملة، وذلك باستفحال التواء الرسوبات الموجودة فيه باتجاه الأعلى من جهة، ومن جهة أخرى

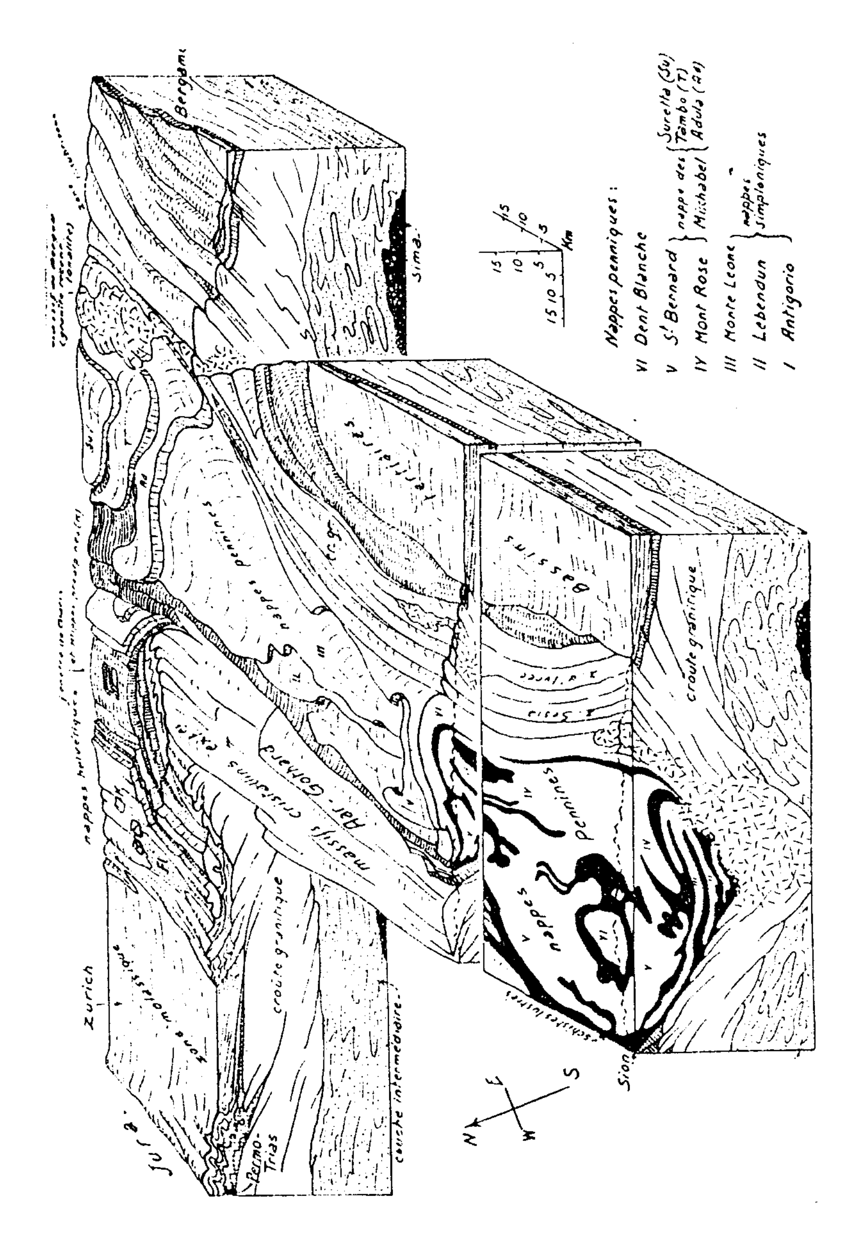
بإحداث غطسة باتجاه أسفل العقفة السيالية في السيما (وعندئذ تبلغ الشذوذات السلبية في التوازن أقصاها) (شكل ٢٣٢). ويجب أن يحدث في هذه المرحلة من المقعر السيالي، في السيما الزجاجية، انصهار شبه كامل للسيال يقود لتزايد خفس العقفة وتشكل صهار غرانيتي (ماغما جديدة التشكل) قد يقود صعودها، في بعض الحالات، وبفعل حركية غرانيت الانصهار الجزئي anatexie والميغمتة migmatation، أقول يقود إلى انبثاق مجموع الكتل الرسوبية السطحية الملتوية التي تنشأ فيها عندئذ كسور كبيرة مسطحة مرتصفة على شكل مروحة متناظرة نوعاً ما. وينحسر البحر نحو الأخاديد الجانبية.

٥ ــ **القشرة العميقة تبدأ بالتشكل من جديد** بفعل التئام نطاق **الامتصاص** الأصلي (شكل ٢٣٢).

وهنا يكون الانتفاخ الجبلي (الورم الأرضي) قد اتخذ مكانه ويبدأ تدخل **تكتونيك الجريان بفعل الثقالة** على سفحيه والذي يؤدي لنطاقات التوائية جانبية ولمنظومات من الطيات المستلقية وأغشية الجرف.

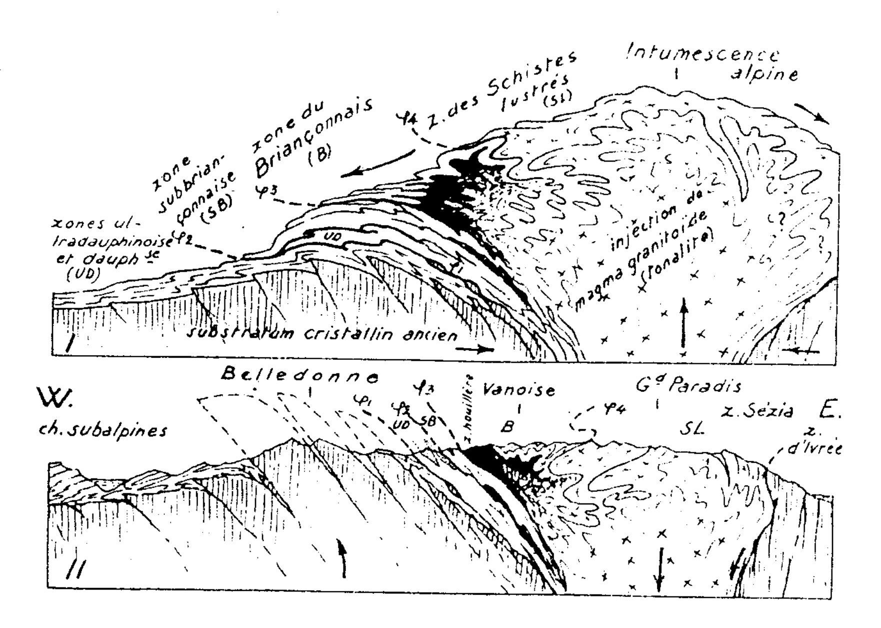
ويعمل الحت الذي يشرع بالعمل، منذ أن عامت السلاسل الطويلة والسلاسل الجبلية، يعمل على تحفير هذه الكتل وتكديس أنقاضها، بلا هوادة، في الحفر الجانبية. وما أن تولد السلسلة الجبلية حتى تصبح فريسة عوامل تخريب عديدة.

٦ ــ **الرعشات الختامية**: بعد أن تفرغت الحفر الجانبية تصبح السلسلة مع طياتها المتراصة، القائمة، والمرتصفة أحياناً على شكل مروحي في النطاق المحوري، وأكثر انتظاماً ومسكوبة بشكل متناظر على حافتيها، أقول تصبح السلسلة عندئذ متفرِّدة تماماً. وبتأثير تناقص الضغوط الناجم عن تباطؤ أو عن توقف تيارات الحملان، فإن التعويض التوازني، الذي يخضع لمبدأ أرخميدس، سيبدأ عمله. اذن سيعود الاتزان التوازني تدريجياً لحاله، وأحياناً بصورة غير منتظمة، مع العمل على **استفحال** نهوض بعض الأقسام الطولانية. ولكن مع الاشارة إلى أصل السلسلة الجبلية ستمكث فيها مع ذلك آثار من العجز الثقالي، وذلك إلى أن يحصل الاتزان التوازني



شكل ٢٣٢ ــ تكتونوغرام جبال **الألب السويسرية** في فرضية غوص النطاق البينية Pennique المتبوع بالتواء وبانبعاث المجموع الجبلي. وقد تم رسم الطيات البينية فيه حسب مقاطع آرغان التقليدية والتي جرى تحريرها استناداً للدراسات الحديثة، وفضلاً عن ذلك جرى اعتبار منطقة إيفريه ivrée كنظير شرقي للكتل المركزية الخارجية (عن أومبغروف، مع تعديل بسيط).

من جديد على أثر عمل الحت البطيء الذي سيبلغ أخيراً مرحلة التسوية الكلية الشبهسلية (**Pénéplanation**) .



شكل ٢٣٤ ــ تكوين جبال الألب الفرنسية في فرضية غوص مبكر للنطاق المحوري من المقعر الأرضي الألبي الذي يصبح النطاق الاستحالي المعقد من صخور الشيست اللماعة (ل . موريه) .

I ، تمثيل افتراضي ومبسط جداً لنشوء التورم الألبي الكبير بفعل انقباض حافتي العقفة السيالية وحقن الصهارات (المهل) من أشباه الغرانيت (توناليت) . انطلاق ظاهرات جريان الرسوبات بفعل الثقالة (وتكون هنا مرئية على السفح الغربي من التورم) . ظهور أغشية الشيست اللماع بفعل انفكاكات متعاقبة **décrochements** ، في منطقة البريانسونيه وجوار البريانسونيه (بريئالب) ابتداءً من الأوليغوسين ، والمتبوعة بأغشية خارجية أكثر وبداية التواء مقدمة الألب .

II ، الوضع الحالي ، المبسط ، لجبال الألب الفرنسية في قطاع السافوا . وقد انهار النطاق المحوري من التورم الأرضي بفعل تقلص الماغما (الصهار) التوناليتي ، الذي تبرد بالتدريج ، في حين حدث الانبثاق التوازني للحاجز المتبلور الخارجي وتم التواء سلاسل مقدمة الألب (ما بعد الميوسين) .

ملحوظة : من المتفق عليه أن الكاربونيفير الفحمي **Houiller** في إقليم بريانسونيه (باللون الأسود) قد أصبح ، مع غطائه من الحقب الثاني ، استحالياً بالتدريج من الغرب إلى الشرق (استحالات هيرسينية وألبية) وان نطاق إيفريه **ivrée** يمثل عودة الحافة الشرقية للظهور من المهد السيالي الألبي من جديد .

الجزء الرابع

الجيولوجيا التاريخية : الأدوار الجيولوجية [1]

(١) دور أو Periode ، وحقب ère ، و èpoque عصر والترتيب من حيث الطول : حقب ، دور ، عصر .

ننوي في هذا القسم الرابع أن نسرد تاريخ الأرض، وذلك بالاستعانة بالمعطيات التي سبق عرضها، وذلك ابتداءً من الأدوار الأكثر توغلاً في القدم، والتي قدمت وثائق جيولوجية، حتى أيامنا هذه.

وليس من ضرورة هنا لأن نقدم وصفاً جيولوجياً كاملاً للأرض (وهو عمل جسيم يمكن العثور عليه معروضاً في المطولات الكبيرة مثل مؤلّف هوغ، مثلاً) ولا أن نلح على الوحيش والنبيت المميز لكل دور (والذي تمت دراسته المقتضبة آنفاً) وسننصرف على الخصوص إلى وصف الطبقات الصخرية الأكثر تمييزاً، في كل دور، وسحنتها، وتوزعها وكذلك الملامح الكبرى للجغرافيا القديمة [1]. وسيكون النظام المتّبع هو نظام اللوحة الإجمالية في ص ٤٧٧، والتي أشير فيها إلى الأقسام الفرعية الرئيسية في الستراتيغرافيا حتى الطوابق الأكثر استعمالاً عادة.

---

(١) لقد اقتبسنا الكثير، في هذا الجزء الرابع، من كتاب **الجيولوجيا الستراتيغرافية** لمؤلفه م. جينيو. هذا كما أن معظم إعادات تمثيل العالم، من وجهة النظر إلى الجغرافيا القديمة خلال العصور الخالية، كانت مصنوعة اعتماداً على الخرائط التي نشرها فورون في كتابه: **الباليوجغرافيا، محاولة حول تطور القارات والمحيطات** (باريس. ١٩٤١).

الفصل الأول

الصخور السابقة للكامبري

١ ــ صفات عامة

تطلق على الصخور السابقة للكامبري أحياناً عبارة الصخور الآركية (من الكلمة الاغريقية **بدائي**) وذلك عندما تكون استحالية وممثلة بصخور متبلورة تورقية (غنايس، ميكاشيست، آمفيبوليت ... إلخ) والمحقونة بأنواع الغرانيت.

وعندئذ تؤلف أكثر الصخور قدماً المعروفة على سطح الكرة الأرضية وركيزة كل القارات، ولكنها لا تشكل إطلاقاً، كما سبق وساد الاعتقاد لمدة طويلة، «القشرة البدائية». ونحن نعرف في الواقع ما هو الأصل الذي يمكن أن ننسبه للصخور المتبلورة التورقية التي من المحتمل أن تكون رسوبات قديمة تغير حالها بفعل الاستحالة العامة وبالتالي ربما تكون من عمر متبدل جداً. ولهذا السبب لا نعرف بالواقع إطلاقاً الخبث البدائي للكرة، وذلك لسبب كونه قد أعيد صهره منذ مدة طويلة واندمج في صخور أخرى.

وهو أيضاً السبب ذاته الذي يجعل من مشكلة أصل الحياة على الأرض معضلة تستعصي على الحل تماماً، ما دام كل أثر مستحاث (حفري) قد اندثر تماماً خلال

التحولات الاستحالية (ومن هذا جاء اسم المجهول الحياة والذي أطلق أحياناً على هذه الأراضي). غير أنه عُلِّقت، بعض الآمال منذ عهد قريب على آثار غريبة دعيت **Eozoon Canadense** والتي شكلت في الغنايس، في المجن الكندي ذيولاً طويلة منسوبة إلى حيوان أولي عملاق ومصفح بقشرة. غير أن هذه الآثار أعيدت إلى المملكة المعدنية بعد أن أمكن التعرف على أنها مؤلفة من تناوبات من شرطان متحوجزة مِن سربنتين ومن كالسيت مماثلة تماماً لمثيلاتها التي يمكن مصادفتها في الصخور البركانية الحديثة.

بيد أن العُصافات الصغيرة ذات القوام الفحمي، المعروفة بإسم Corycium enigmaticum الموجودة في صخور فيللاد البوثني، في فنلندا، تلقى حظوة أكثر وتعتبر اليوم كبقايا من طحالب بدائية.

ويكون هذا الأساس الاستحالي من الآركي مستوراً أحياناً دون توافق بصخور تكون صفاتها الرسوبية غير قابلة للجدل: رصيصات، حجر رملي (حث)، كوارتزيت، صخور كلسية ... إلخ. وإلى هذا الفرع المتفاوت في استحالته من طبقات ما قبل الكامبري، يخصَّص إسم آلغونكي أو ما قبل الكامبري، وذلك عندما تكون واقعة تحت الكامبري الأسفل الحاوي على المستحاثات[1]. ويشير التكوين البتروغرافي، ولا سيما وجود الصخر الكلسي، بكل وضوح، بأن الحياة كانت متمثلة في ذلك العصر السحيق. والواقع أشير فيه لوجود آثار إن لم تكن قابلة للتحديد نوعياً، فهي على الأقل لا جدال فيها آثار عضويات: الطحالب الزرقاء **cyanophycées** **(Cryptozoon)** في الصخور الكلسية الآلغونكية في امريكا الشمالية، وشعاعيات، وإسفنجيات Spongiaires وصخور الفتانيت في Lamballe (كوت دونور) والاسفنجيات Spongiaires البدائية أو **Atikokania** في الصخور الكلسية الهورونية في

(١) لقد طرحت مؤخراً عبارة ما تحت الكامبري **infracambrien** مؤخراً من جانب بروفوست للكناية عن التشكيلات السابقة للجيورجي المؤرَّخ، ولكنها قابلة للفصل عن ما قبل الكامبري **Précambrien** بواسطة عدم توافق (تنافر بالأساس). (نشرة الجمعية الجيولوجية وعلم المستحاثات والهيدرولوجيا البلجيكية. مجلد ٦٠، جزء١ ص٤٢. ١٩٥١).

ولاية أونتاريو الكندية. والمنضديات Tabulés المشعبة أو **Carelozoon** في صخور الدولومي الجاتولية **Jatuliennes** في فنلندا، وبقايا الحلقيات، وشوكيات الجلد، وقشريات، ومعديّات الأرجل في الآنغونكي في امريكا الشمالية... إلخ.

وهكذا يمثل هذا الوحيش الخزان الذي غذّى الوحيشات التالية وعلى الخصوص الوحيش الكامبري الشديد الاختلاف. ولما كان هذا شديد التنوع، فمن المحتمل أنه كان مسبوقاً بأجداد آركية. ومن المحتمل تماماً أنه في خلال هذا الدور الآركي تمايزت وتفردت كل هذه الفروع من اللافقاريات، وهكذا هناك القليل من الحظ، كما سبق ورأينا، في أن نستطيع في يوم ما حل لغز أصل الحياة، وذلك نظراً لتدخل الاستحالة **métamorphisme**.

٢ ـــ التوزع الجغرافي

لن نتعرض هنا إلّا لسابق الكامبري **Anté-Cambrien**، في المناطق الأوروبية التقليدية، وكذلك في مناطق أخرى من العالم (امريكا الشمالية) حيث تمت دراسته. وهكذا لن نتصدى إذن لوصف هذه الصخور في المناطق القديمة الإفريقية (كالمغرب مثلاً) حيث أخذت تتكشف عناصر من ستراتيغرافيته. وينطبق الحال كذلك على **المجن الصحراوي** (كيليان) **والمجن السيبيري**.

I ـــ المجن البلطي(١)

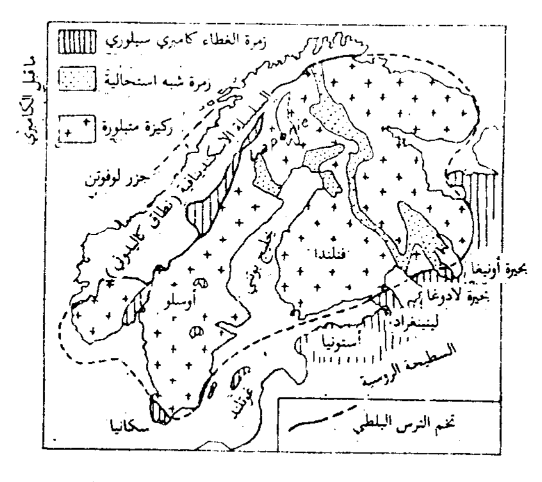
يقصد بهذه الكلمة، وكذلك بكلمة المجن الفينّيسكنديناڤي، تلك الرقعة

---

(١) ونقصد بكلمة مجن أو ترس كلمة **Shield** الانكليزية و **bouclier** الفرنسية. وقد شاع خطأً ترجمتها بعبارة درع وشتان ما بين مدلول العبارتين فيقولون الدرع العربي أو درع القوات المسلحة مع أن الدرع تتصف بالمرونة، أو الزرد، وفي الترجمة الأخيرة خطأً وجهل عظيمين لغوياً وعلمياً من حيث معنى الكلمة.

القارية البدائية، المؤلفة من صخور استحالية قديمة جداً، ملتوية ومسوّاة، والتي تتكشف من حول بحر البلطيق (شكل ٢٣٥). وتتلاشى هذه الرقعة، باتجاه الغرب والجنوب والشرق، تحت طبقات أفقية كامبرية ــ سيلورية مؤلفة حافة على شكل روشن أو جرف Falaise تمر من منطقة البحيرات، من ستافانجر حتى فارانجر فيورد.

ويمكن متابعة حد المجن في خليج آرخانجل وفي بحيرتي أونيغا ولادوغا، وفي خليج فنلندا، ثم يقطع بحر البلطيق تاركاً جنوب سكانيا. ولنلاحظ أن المجن البلطي يتمدد باتجاه الجنوب الشرقي **بالسطحية الروسية** التي تكون بنيتها الجيولوجية مماثلة.



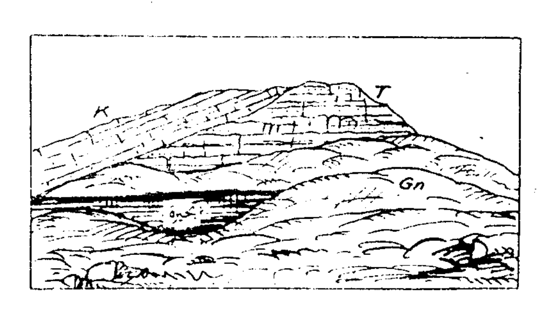
شكل ٢٣٥ ــ المجن (الترس) البلطي.

ويتمثل فيه الآركي بصخور شديدة الاستحالة مع صخور فيلاد ذات Corycium في المجموعة السفلى (البوثني نسبة إلى خليج بوثني في صدر البحر البلطي). أما القبكامبري Précambrien فيتمثل تماماً في ثلاثة طوابق هي: لادوغي، كافيلي وجاتولي، ويكون الأخير أقل الطوابق استحالة (وهنا تم وصف أقدم طبقة من الفحم المعروف أو شونجيت، وكذلك مستحاثة منضدية Tabulé Carelozoon Jatulicum) والتي تعتبر حالياً المعادل فوق القاري للطابقين الآخرين. ويكون المجموع ملتوياً بشدة (سلسلة كاريليد) ومتغرنتاً، ويكون الغرانيت الشهير المسمى «Rapakivi» الذي يبلل هذه الصخور، بالفعل، تالياً للتكتونيك؛

أي تسلل في الصخور المحلية بعد الالتواءات . وقد تمخضت فترة الحت والتسوية شبه السهلية (الشبسلة) Pénéplanation التي أعقبت انبثاق سلسلة الكاريليد عن رسوبات حطامية (حث أحمر) تغطي كل هذه الصخور المتغرنتة بشكل متنافر وتشكل الطابق الجوتني Jotnien . ولا يؤلف هذا الجوتني غطاءً مستمراً إطلاقاً ، بل انكمش على شكل مِـزَقٍ مبعثرة ، تقع أهمها كبراً في جنوب غرب بحيرة أونيغا .

II ــ المناطق الأوروبية الأخرى

أ ــ **سلسلة هبريد** : وهي المنطقة الواقعة إلى الشرق من خط توريدون ــ ايريبول وحيث تبدو صخور **الغنايس اللويزية** Lewisiens الجاثمة تحت صخور **توريدون الرملية** (تشكل آركوزي مشرب بالحمرة ، شبه صحراوي مماثل للجوتني (شكل ٢٣٦) تكون بدورها مغطاة بالكامبري ذي المستحاثات لنطاق دورنس .



شكل ٢٣٦ ــ **علاقات الصخور السابقة الكامبرية في شمال شرق إيقوسيا (لوش آسينت) تنافر** صخور توريدون الرملية (T) فوق الغنايس اللويزي (Gn) والكامبري الطاغي (المتجاوز) K .

ب ــ **إيقوسيا** : وتكون كتلة الجبال المسماة **«هايلاندس»** التي يؤلف قسمها الجنوبي **جبال غرامبيان** ، وتكون أيضاً مؤلفة من صخور قديمة جداً (غنايس) محدودة ، نحو الشمال الغربي ، بخط توريدون ــ ايريبول الشهير ، والذي سبق لنا الكلام عنه ، والذي يبدو أنه ليس إلّا خط جرف تكون صخور الغنايس الشرقية مدفوعة لما فوق كامبري دورنس . وتؤلف الصخور الشديدة الاستحالة في الشمال الشرقي (غنايس) الطابق المواني Moinien في حين تؤلف الصخور الأقل استحالة في الجنوب

الشرقي (ميكاشيست، فيللاد، صخور كلسية، كوارتزيت) ما يسمى الدالرادي Dalradien.

جـ ــ **الكتلة الآرموريكية**: إن المقطع التقليدي هو مقطع وادي ليز، قرب ماي May (شكل ٢٤٣): فهناك الكامبري ذو المستحاثات الذي يرقد فيها بتنافر discordance فوق صخور الفيللاد الشديدة الانتصاب، والتي نعثر عليها في سان لو، والتي تؤلف الطابق البريوفيري. ولكن عبارة البريوفيري Briovérien هذه سبق أن استُخدمت للكناية عن تشكلات أخرى متفاوتة في استحالتها في منطقة بريتانيا والتي يكون البعض منها سابقة للكامبري فعلاً، وذلك كصخور الفتانيت ذات شعاعيات لامبال والشيست الأخضر قرب مدينة رين Rennes، ولكن تكون بعضها بالطبع أكثر حداثة؛ أي كامبرية (بودينغ غوران وصخر كلسي سان ثوريال) أو كاربونيفير (كلس دوردو) (ميلون Milon).

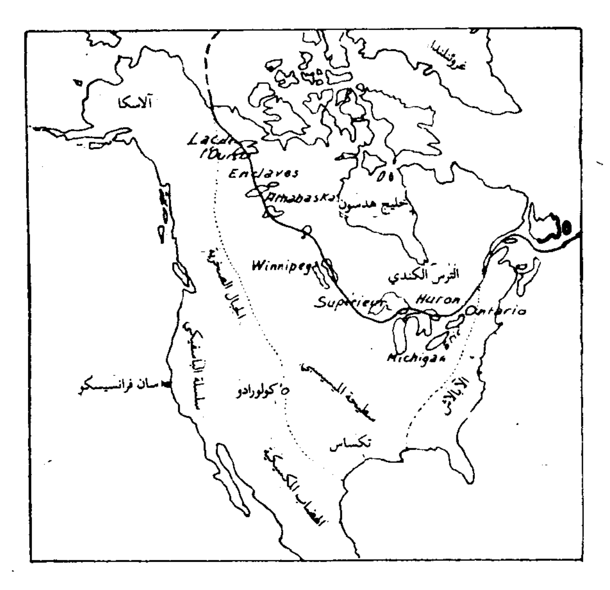
أضف إلى ذلك بأن من المقبول الآن أن قسماً كبيراً من الصخور المتبلورة التورقية في الكتلة المركزية وفي جبال الفوج هي سابقة للكامبري.

د ــ **بوهيميا**: بالإضافة إلى المركّبات الاستحالية القديمة أمكن التعرف على الآلغونكي (شيست وحث) في ضواحي العاصمة براغ.

III ــ المجن الكندي

ويؤلف ذاك القسم من كندا الذي يطيف بخليج هدسن والذي يتحدد بخط البحيرات الكبرى، ابتداءً من بحيرتي أونتاريو وهورون، في الجنوب الشرقي حتى بحيرتي العبيد والدب في الشمال الغربي (شكل ٢٣٧). وفي كل مكان فيه تتكشف الصخور القديمة، الملتوية والمسوّاة بالحت، فيما عدا من بداية خط حيث تظهر الأراضي الكامبرية ذات الطبقات الأفقية. وتؤلف الطبقات هذه هنا روشناً حتياً، اشتهر منذ

أيام سويس Suess باسم خط الغلنت glint ، وترتصف البحيرات الكندية الكبرى عند قاعدة هذا الخط.

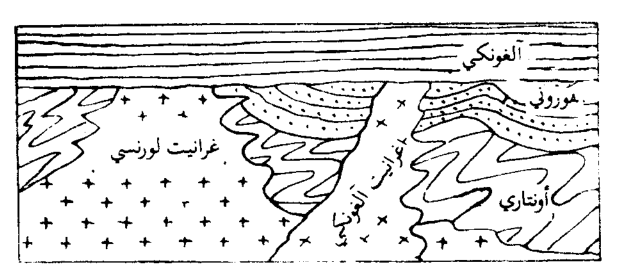


شكل ٢٣٧ ــ المخطط المبسط للمجن الكندي.

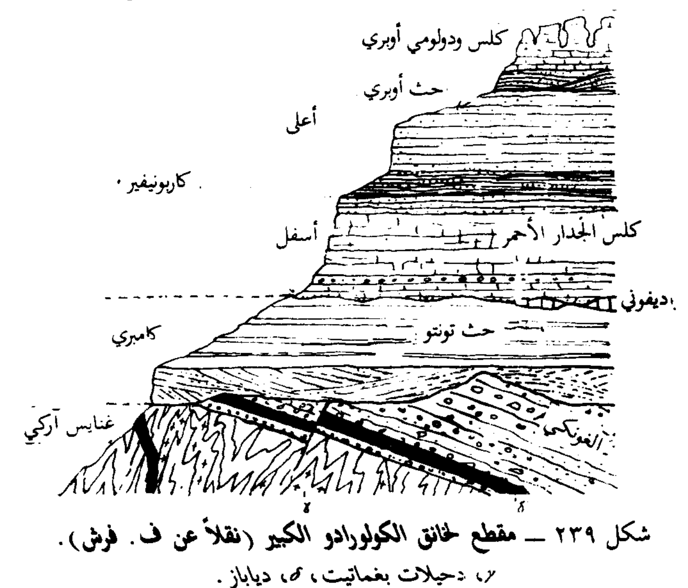
وتعرض صخور هذا المجن تشابهات كبيرة مع صخور المجن البلطي وتكون مشكّلة أساساً من غنايس وميكاشيست محقونة بغرانيت (لورنسي) مع صخور بركانية وبعض مقعرات ضيقة من رسوبات آلغونكية (شكل ٢٣٨). ففي منطقة البحيرات الكبرى، والتي هي أفضل من سواها معرفة، يفصل تنافران كبيران هذا المجموع عن معقّد سفلي أو الأونتاري، ومعقّد أوسط أو الهوروني، ومعقد أعلى يمثل الآلغونكي.

ويحوي كل من الهوروني والأونتاري على مكامن هامة من الحديد، قد تعود إلى أصل رسوبي في حين تمعدن الآلغونكي بنحاس نقي.

وتجدر الإشارة إلى تكشف كونغلوميرا جمودية حقيقية مع جلاميد مخططة ابتداءً من قاعدة الهوروني.



شكل ٢٣٨ ــ **علاقات الصخور السابقة للكامبري والاندساسات الغرانيتية في كندا** (المجن الكندي).



شكل ٢٣٩ ــ **مقطع خانق الكولورادو الكبير (نقلاً عن ف. فرش).**
γ، : حيلات بغماتيت، δ، دياباز.

IV ــ خانق كولورادو الكبير

يسمح هذا الفج الشهير، الذي احتزّه نهر الكولورادو في صخور من الحقب الأول والثاني، والتي تغطي أراضي سابقة للكامبري في منطقة **الهضاب العليا**، **أقول** يسمح بملاحظة، وذلك من تحت الكامبري الأفقي، صخور رملية ومارنيات آلغونكية ذات آثار حاوية على المستحاثات، ثم صخور الغنايس الآركية الشديدة الالتواء (شكل ٢٣٩). ويتميز الآلغونكي من الزمرة المسماة زمرة بلت Belt، والتي تظهر إلى

الشمال قليلاً من ذلك، بوجود بقايا عضوية أمكن كشفها وإبرازها والتي تحتل مكانها بين أقدم ما نعرف منها.

٣ ـ خلاصات

هناك أمر يتكشف بكل صراحة من كل ما سبق وقلناه عن العصر السابق للكامبري: ذلك أن العصر المذكور، الذي لا يزال غير معروف بشكل صحيح، بلغ من الطول قدراً مذهلاً حتى أن مدته قد تجاوزت أمد مجموع الأزمنة الجيولوجية التي أعقبته. وفي الواقع فإن هذه الصخور السابقة للكامبري تكون شديدة الثخانة (أكثر من ٢٠ كم في المجن الكندي، مثلاً) كما يشهد العديد من التنافرات التي يمكن أن نلاحظها فيه على أن بضعة سلاسل متعاقبة قد انتصبت، ثم تخربت خلال تلك الحقبة، وذلك على الأقل في نصف الكرة الشمالي.

وآخر هذه السلاسل هي السلسلة المسماة بالهورونية ونتفق على تحديد مجاله بالمناطق التي يكون فيها السابق للكامبري مغطّى بالكامبري الذي ظل افقياً مثل: المجن البلطي، المجن الكندي، سلسلة هبريد وإيقوسيا، غروئنلندا، سبيتزبرغ وإلى حدّ ما المجن السيبيري. وهكذا تشكلت حوالي أواخر العصر الآلغونكي، وفيما حول نصف الكرة الشمالي، قارة شمالية فسيحة (أو اللورنسية) في حين راحت تمتد، في جنوب هذه القارة، التي استقرت بصورة نهائية منذ بداية الكامبري، أقول راح يمتد فوق بقية الأرض بحر فسيح لم تكن تعوم فوق سطحه، هناك وهناك، سوى بعض الجزر النادرة (بريتانيا، الكتلة المركزية، جبال الفوج، بوهيميا ... إلخ).

ولنضف إلى ذلك أن هذه المناطق الهرمة تكون متشكّلة في معظمها من غرانيت منبث (غرانيت التشرب anatexie) ومن ميغماتيت (انظر ص ١٥٩).

الفصل الثاني

الصخور الكامبرية

١ ــ صفات عامة

لقد اقتبس اسم كامبري من **كامبريا**، وهو اسم لاتيني لبلاد الغال في بريطانيا. وبمقدورنا، هذه المرة، أن نميز بيقين، خلال هذه الفترة، ثلاثة طوابق متعاقبة حسنة التمايز بوحيشها من ثلاثية الفصوص (تريلوبيت) وهي: الأسفل أو الجيورجي (وحيش ذو **Olenus**)، متوسط أو أكادي (وحيش ذو **بارادوكسيد**) أعلى أو بوتسدامي (وحيش ذو **Olenellus**). والوحيش الأوسط؛ أي ذو **Paradoxides**، هو المعروف قبل سواه، لأن اكتشافه يعود لعام ١٨٥٢ وقد منحه مكتشفه بآراند **Barrande** اسم «وحيش أوّلي». غير أن هذا الوحيش، حيث تتمثل فيه كل مجموعات اللافقاريات، قد تم اكتشافه فيما بعد في العديد من المواقع، ونحن نعرف أيضاً ليس هو الأول الذي ظهر فوق كرة الأرض.

وبدءاً من ذلك العصر نستطيع كذلك أن نميز، وذلك باستنادنا على دراسة السحنة، مناطق فوقارية **épicontinentales** ومناطق جيوسنكلينالية. ففي المناطق الأولى يمثل الكامبري البحري (بودينغ. آركوز، كوارتزيت) وهو ناقص ومتنافر فوق

القبكامبري Précambrien الملتوي، يمثل بقايا تخريب التضاريس الهورونية (مثال ذلك حافة الترس البلطي). وفي المناطق الثانية حيث تكون السحن أكثر نعومة (شيست وصخور حث دقيقة، فيللاد)، تصل سماكتها إلى بضعة آلاف من الأمتار، وأحياناً استحالية، وتكون هذه الطبقات بحالة توافق مع الأساس الذي لم يسبق له الالتواء قبل الكامبري (مثال: المقعر الأرضي المتوسطي (الرومي): الجبل الأسود، المغرب، سردينيا) (شكل ٢٤٤).

٢ ـــ التوزع الجغرافي

أ ـــ السحن النيريتية néritiques

أ ـــ المجن البلطي: وهنا يتجلى الكامبري فيه أفقياً فوق السابق للكامبري Anté-Cambrien الملتوي فوق حافة هذه الرقعة القارية (شكل ٢٣٥) وتكون السحن ساحلية أكثر كلما اقتربنا من المناطق المركزية. ففي الشمال تكون عبارة عن رصيصات وحث صفاحي غليظ يدعى «**سباراغميت**» و «**حث فارانجر**» الذي لا يزال عمره موضع جدل. وعند مشارف أوسلو (كريستينيا) تكون قاعدة الكامبري مؤلفة من حث ذي دروب حيوانات **(Eophyton)** وشيست وحث ذي **Olenellus** (جيورجي) رقيق، وأخيراً تأتي الشيست مع **Paradoxides** (آكادي) ثم ذات **Olenus** (بوتسدامي) لا يلبث أن يتحول إلى صخور الشيست ذي **Dicytyonema Flabelliforme** التي تشكل قاعدة السيلوري. إذن توجد هنا ثغرة كبيرة تقابل صخور الشيست ذات ثلاثية الفصوص (تريلوبيت) في المقطع السابق والتي تنوب عنها هنا سحنات حثية.

ب ـــ سلسلة هبريد: ويقدم الكامبري فيها صفاتٍ مماثلة (شكل ٢٤٠).

فيتألف الأساس من رصيص ومن حث ـــ كوارتزيت ذي ثقوب ديدان

(Scolytus) و Olenellus (جيورجي) متنافرة فوق صخور الغنايس اللويزية، ثم تأتي صخور الكلس الدولوميتية ذات Archæocyathidés (كلس دورنس) و Paradoxides (آكادي) وأخيراً أغشية جرف مؤلفة من غنايس الشرق التي تحول دون رؤية بقية المقطع.

ب ــ السحن الجيوسنكلينالية

أ ــ أوروبا الشمالية: يبدو الكامبري، ذو السحنة العميقة، متوافقاً مع الصخور الأقدم الذي يكون ملتوياً معها في كل مكان (سلاسل كاليدونية وهيرسينية). ولا يمكن لوجود الكامبري في هذه الزمر الطبقية الرتيبة وذات السحن الشيستية والاستحالية، لا يمكن أن يدل على نفسه فيها إلّا بوجود مكامن حاوية على المستحاثات. وهكذا تم اكتشاف مثل هذه المستحاثات الكامبرية في زمر الطبقات الآلغونكية ــ السيلورية في جبال اسكندينافيا وبلاد الغال، والآردين، والكتلة الرينانية، والساكس، وتورينج وجبال بولونيا.

وتكون مقاطع بلاد الغال (شكل ٢٤٠) تقليدية: ففي موقع سان دافيد يبدأ الكامبري برصيص متنافر فوق القبكامبري، وتستمر بصخور شيست وحث اكتشف فيها هيكس Hicks للمرة الأولى ثلاثية فصوص (تريلوبيت) أكثر قدماً من مثيلاتها المنسوبة للوحيش الأولي (وحيش ذو **Olenellus**، جيورجي) ثم تأتي صخور الحث الدقيق والشيست الأسود ذو **Paradoxides** (آكادي) وتنتهي الزمرة بـ «**بلاطات ذات Lingules**» والتي لم تقدم، هنا **Olenus** (بوتسدامي).

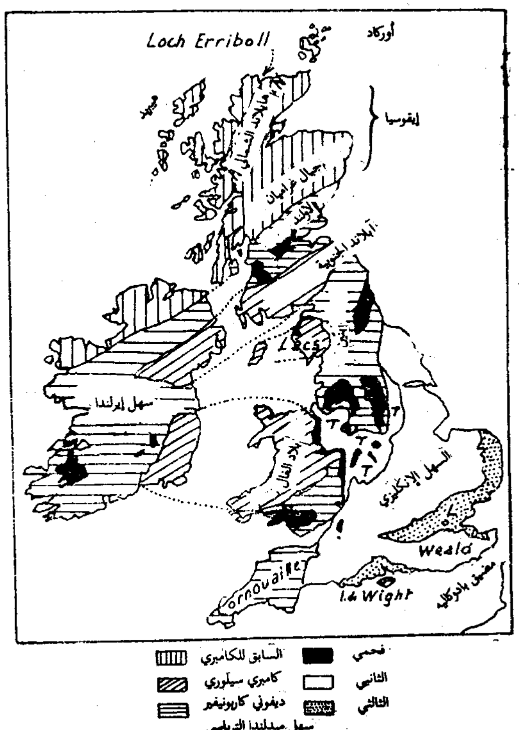
وإلى الشمال من بلاد الغال، في هارلش، يوجد محدب كامبري آخر حيث تكون الزمرة مماثلة، ولكن تحتوي بلاطات ذات Lingules تحوي مستحاثة **Olenus**.

وتبلغ ثخانة الكامبري في هذه الأصقاع ٣٠٠٠م.

ب ــ الآردين: ويؤلف الكامبري فيه بعض البقع الصغيرة ضمن مجموع كبير يسود فيه الكامبري على الخصوص، وذلك في موقع روكروا، سيربون، وستافولو

(شكل ٢٤١). وتكون هذه عبارة عن صخور شيست شديدة الانتصاب ومرتصفة على شكل زمر طبقية وحيدة الميل يكون من المستحيل تمييز الطوابق فيها، وفي الحقيقة تسمح آثار المستحاثات بالقول فحسب بأن لدينا هنا معقد كامبري ـــ سيلوري وأن الكامبري ممثل بصورة مؤكدة أكثر بأردواز فومـاي Fumay و Deville وبصخـور شيست Revin السوداء.

جـ ـــ فرانكونيا، سيليزيا، بولونيا: لقد أشير لوجود الكامبري في كل هذه المناطق، ولكنه يبلغ أقصاه في بولونيا من حيث الثخانة مع سحنة من **فليش** متميزة جداً.

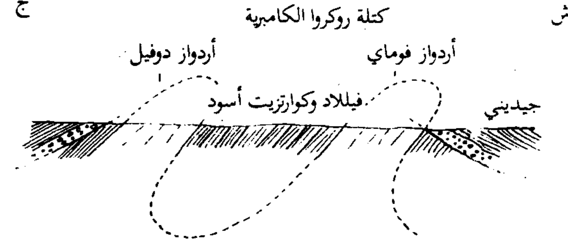


شكل ٢٤٠ ـــ مخطط جيولوجي مبسط للجزر البريطانية.
ملاحظة: لم يتم تمثيل صخور الحث القديمة في المناطق السابقة للكامبري في إيقوسيا (ددلي ستامب).

د ـــ الجبل الأسود: لقد تم اكتشاف الكامبري ذي «الوحيش الأولي» فيه على يد بيرجرون الذي قام تورال بمتابعة دراساته وتكميلها.

ويتمثل الكامبري في قاعدته بصخور «حث ماركوري» مع مستحاثة Olenopsis (ثلاثية فصوص مميزة للجيورجي في الإقليم الأطلنطي) تعلوه صخور كلسية ذات Archaocyathus (جيورجي). ومن ثم تأتي صخور الكالكشيست ذات الوحيش الأولي (آكادي) وأخيراً يأتي الحث الشيستي ذو الوحيش البوتسدامي.

هـ ــ **سردينيا**: ويبدو أن الآكادي وحده هو المتمثل هنا بصخور كلسية ذات Archæocyathidés المتجاور مع صخور الشيست ذات Paradoxides.



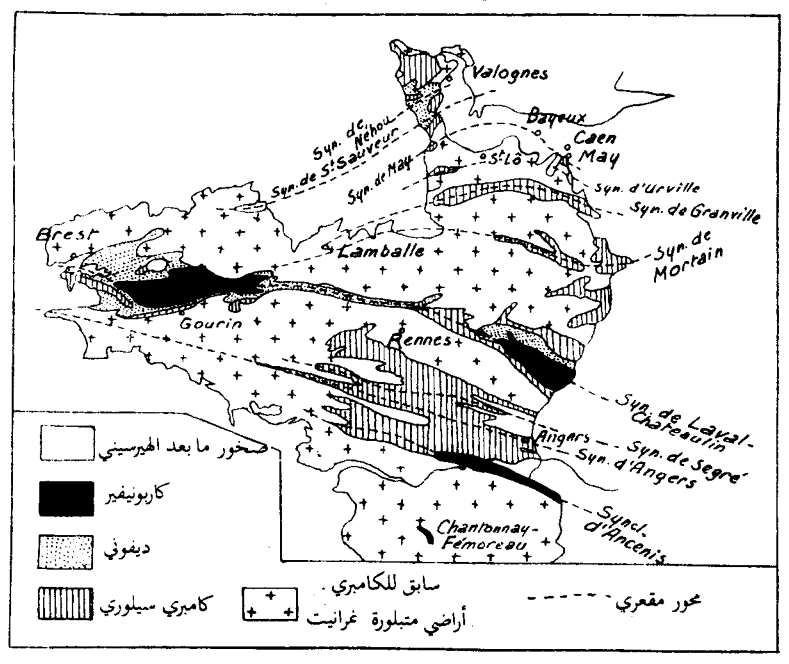
شكل ٢٤١ ــ **مقطع مبسط من الشمال للجنوب لكتلة روكروا الكامبرية.**

و ــ **المغرب**: يعود اكتشاف الكامبري لعهد قريب. فيشكل هذا الطابق فيه، وذلك على شكل صخور شيستية وحث ناعم العناصر ذي ثلاثية الفصوص، أو على شكل صخور كلسية ذات **Archæocyathus**، يشكل انكشافات فسيحة في وسط المغرب (المائدة المغربية) وإقليم الجبيلات، والأطلس الكبير والأطلس الصحراوي وجبل صاغرو. وتبدأ الزمرة الطاغية، في المنطقتين الأخيرتين، فوق سابق الكامبري (صخور متبلورة وكوارتزيت) تبدأ برصيص ذي **Protolenus** وبصخور حث مع مسكوبات من ريوليت ومن آنديزيت تمثل الجيورجي، ويستمر بصخور كلسية ذات Archæocyathidés وبشيست ذي بارا دوكسيد (آكادي) (ل. نلتر). وهناك صخور شيست دون مستحاثات تشكل مرحلة انتقالية إلى السيلوري.

جـ ــ السحن المختلطة

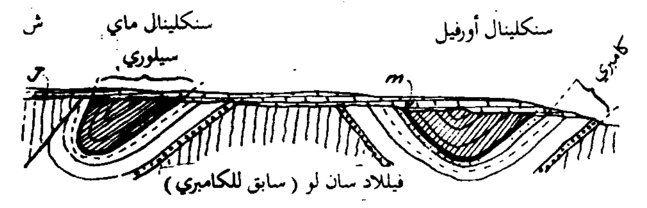
أ ــ **الكتلة الآرموريكية**: وتشكل فيه طبقات الحقب الأول، مع الكامبري، شرطاناً سنكلينالية في قاعدة متبلورة واستحالية (سابقة للكامبري) (شكل ٢٤٢).

وأجمل مقطع فيها هو مقطع ماي ، قرب كان ، حيث تظهر بالتعاقب ، وذلك على طول ضفاف وادي ليز Laize ، صخور فيللاد سان لو (بريوفيري) : رصيص قرمزي ، وصخور شيست حمراء وخضراء مع تناوبات من عدسات كلسية (مرمر ليز) وأخيراً



شكل ٢٤٢ ـــ خارطة جيولوجية مبسطة للكتلة الآرموريكية.

من آركوز وحث فلدسباتي مغطاة بحث آرموريكي (سيلوري) (شكل ٢٤٣) . وقد



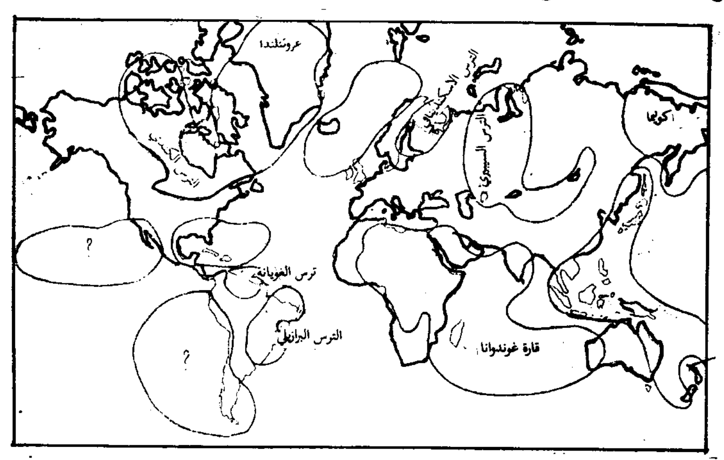
شكل ٢٤٣ ـــ مقطع للصخور السابقة للكامبري ، والكامبرية والسيلورية لمنطقة ماي ، قرب كان (m ، فلز حديد أوردوفيسي . j ، غطاء جوراسي أفقي) (عن آ . بيغو) .

عثر بيغو على أجمل مستحاثات (حفريات) هذا الكامبري البريتاني في شبه جزيرة كوتنتان ، في منطقة كارتريه (وهي Archaecyathidés وثلاثية الفصوص) .

ب ــ بوهيميا : يؤلف الحقب الأول في وسط بوهيميا «منطقة الشيست القديم» الذي قام بارّاند بدراسته على أحسن وجه. ويتكشف الكامبري قرب بريبرام وفي شمال شرق بلزن. ويكون هذا في المنطقة الأولى عبارة عن مجموع حطامي وشيستي خال من المستحاثات، وفي المنطقة الثانية، يكون الكامبري على الخصوص حاوياً على المستحاثات في موقع سكرج (يكون شيست سكرج ذا ثلاثية الفصوص آكادية) حيث يكون مغطًّى بالسيلوري الطاغي (المتجاوز).

د ــ كامبري أمريكا الشمالية

وهنا سيلعب المجن الكندي الدور الذي قام به في أوروبا المجن البلطي. وهكذا



شكل ٢٤٤ ــ الجغرافيا القديمة الكامبرية.

يتكشف الكامبري على كل حافته قليل الثخانة، وكثير الثغرات وأفقياً. وتمثل صخور حث بوتسدام (بوتسدامي) المتميز بنوع من ثلاثية الفصوص خاصة بالإقليم الباسفيكي، من نوع **Dikellocephalum**، تمثل الكامبري لوحده. ولا يبرز الآكادي للعيان إلّا باتجاه الجنوب الغربي، في المقطع الشهير لخانق الكولورادو الكبير، وهو عبارة عن صخور حث طاغية فوق الآلغونكي وتضم ثلاثيات الفصوص للإقليم الباسفيكي مثل **Olenoides** و **Ptychoparia** تمتطيها صخور الحث والشيست ذات **Dikellocephalus**.

وفي الغرب، في منطقة المقعر الأرضي الباسفيكي، تزداد سماكة الكامبري ويتخذ سحنة شيستية، وتتمثل الطوابق الثلاث فيه بثلاثيات الفصوص للإقليم الباسفيكي. وهناك نطاق جيوسنكليناليي آخر، مناظر للسابق، يؤلف إلى الشرق من المجن (الترس) الكندي، جبال الآبالاش، وهنا أيضاً يكون الكامبري، الملتوي والشديد السماكة، كاملاً وذا سحنة باسفيكية.

وأخيراً يتكشف الكامبري بدءاً من شبه جزيرة لابرادور الكندية حتى ولاية نيويورك، طاغياً فوق قاعدته **Substratum**، ولكنه كامل وذو سحنة أطلنطية، ويكون غنياً بالمستحاثات وفي هذه الأمكنة جرى تبنّي كل نماذج الطوابق، إذن يجب أن نقبل بوجود عتبة، هي سلسلة جبلية عائمة (الجبال الخضراء) هي التي ستقوم بفصل المجالين الأطلنطي والباسفيكي عن بعضهما، وعلى الخصوص خلال الكامبري الأوسط والأعلى.

الفصل الثالث

الأراضي السيلورية

١ ـــ صفات عامة

لقد استمد مورشيسّون عبارة سيلوري من اسم Silures وهم قوم من سكان بلاد الغال القدامى. غير أن الحد الفاصل بين الكامبري والسيلوري هو اتفاقي بحت، ولهذا السبب صُنِّف الكامبري في الماضي ضمن السيلوري.

وليس هناك من حادث جغرافي قديم هام وقع بين الكامبري والسيلوري، ومن المتفق عليه حالياً أن السيلوري يبدأ مع صخور الشيست ذات **Dictyonema Flabelliforme**، والتي تحتوي هنا وهناك على ثلاثية الفصوص **(Euloma, Niobe, Ceratopyge)** غير معروفة في معظمها في الكامبري. ويطلق على هذه الطبقات الانتقالية أحياناً اسم تريمادوسي (نسبة إلى بلدة Tremadoc في بلاد الغال) ونحن نتفق على أن التريمادوسي يؤلف قاعدة السيلوري في فرنسا.

غير أن الحد الأعلى يكون واضح المعالم جداً بفضل انبثاق **السلسلة الكاليدونية** في كل أوروبا الشمالية. وهكذا يكون التنافر الكاليدوني إذن عبارة عن شاخص، وهكذا نجد، في الآردين، أن قاعدة الديفوني المؤلفة من رصيص (بودينغ)

فيبان Fépin تطغى على السيلوري الأعلى. ولكن، تتكشّف في انكلترا، طبقات انتقالية (طابق داونتوني Dawontonien) حيث يحل مكان المستحاثات البحرية السيلورية، ونجد بعض ذوات المصراعين الضخمة Gigantostracés اللاغونية المختلطة الديفونية، مما يؤدي بأكثرية الجيولوجيين، هذا بالإضافة إلى اعتبارات أخرى ستراتيغرافية بحتة، إلى تصنيف هذه الطبقات في الديفوني.

ولقد أصبح وحيش السيلوري غنياً جداً وتكون كل المجموعات البحرية متمثلة فيه. غير أن الوحيش البري والنبيت يكونا شبه مجهولين فيه حتى الآن. ولنتذكر بأن في السيلوري أخذت تظهر أوائل خفيات الإلقاح الوعائية مثلما ظهرت بشكل كثيف الخطيات أي الغرابتوليت Graptolithes والمرجانيات الرباعية Tétracoralliaires، مثلما ظهرت كذلك أوائل النوتيل Nautiles وأشباه الأمونيات (بكتريات كانت تملك قوقعة مستقيمة)، والحشرات ذات استحالات mètamorphoses ناقصة، وأوائل الأسماك (ولا سيما الأسماك المدرعة) و Gigantostracé.

وسنعمد إلى تقسيم السيلوري تقسيماً فرعياً إلى طابقين كبيرين: الأوردوفيسي في القاعدة (نسبة إلى الأوردوفيسيين وهم من قدماء أقوام بلاد الغال) ويكون على العموم شيستياً ومتميزاً بوجود الغرابتوليت المتنوعة، وفي القمة يظهر الغوتلندي (نسبة إلى جزيرة غوتلند في البحر البلطي)، ثم الصخر الكلسي (كلس بحري ورصيفي) مع العديد من ثلاثيات الفصوص وقصيرات الأرجل. وتشتمل هذه الطوابق بدورها على التقسيمات الفرعية التقليدية التالية، والتي أقِرّت في بلاد الغال:

داونتوني حث «صخر رملي» داونتون يتحول بصورة غير محسوسة إلى الحث الأحمر القديم الديفوني.

غوتلندي:

لودلوفي (شيست وحث ذو عناصر من وحيش ديفوني: أوائل الأسماك المدرعة و Gigantostracés).

ونلوكي Wenlokien (شيست وصخور كلسية متكتلة ذات ثلاثية الفصوص وقصيرات الأرجل و **Cardiola interrupta** وتنتهي بصخور كلس دولي Dudley الغنية بالمستحاثات) .

فالنسي Valentien (وقديماً Llandovery) (شيست ذات خطيات تارانّوان ، سحنة الغوتلندي العادية ، وشيست وحث للاندوفري) .

الأوردوفيسي

آشجيلي (وقديماً كارادوك . ب . ب) (شيست آشجيل) .

كارادوسي (وقديماً كارادوك . ب . ب) (حث وصخور كلسية ذات **Orthis Actonioe**) .

للّانديلي (وقديماً للانديلو) (كلس للانديلو ذو ثلاثيات الفصوص ، Calymènes ، منضمة بين شيست ذات خطّيات (غرابتوليت) .

شيدّافي (وقديماً Arenig) (شيست ذات خطّيات و **Trinucleus**) .

تريمادوسي (وقديماً تريمادوك) (شيست وحث شبه شيستي ذو **Dictyonema** ، **Euloma** و **Niobe** .

٢ ــ التوزع الجغرافي

أ ــ الجزر البريطانية

لقد أصبح السيلوري ، الشديد الانتشار والمتصف بسحن متنوعة ، أقول أصبح في الجزر المذكورة تقليدياً ، بدءاً من الدراسات العديدة التي خصصت له . وهكذا وبناءً على ذلك رأينا قبل قليل أن كل نماذج طوابق السيلوري قد اقتبست من هذه المناطق .

وتتوزع الانكشافات فيها حسب الطريقة التالية ، من الشمال إلى الجنوب (شكل ٢٤٠) : هايلاند إيقوسيا مع جبال غرامبيان ، الأراضي المرتفعة الجنوبية في إيقوسيا ، دائرة البحيرات ، وأخيراً بلاد الغال . وتؤلف هذه المناطق مجال السلسلة

الكاليدونية، ومعنى ذلك أنها كانت، قبل الالتواء، مشغولة بحفرة جيوسنكليناليّة فسيحة (الخندق أو الحفرة الكاليدونية).

وهناك أربع سحن رئيسة يمكن توضيحها في هذه الجزر: سحنة الشيست السوداء ذات الخـطّيات مع طبقات من فتانيت ذات شعاعيات، السحنة الحثية الشيستية الأرضية المنشأ من نمط «فليش»، السحنة البركانية (رماد، طف ولابات منطلقة من جزر بركانية)، وأخيراً السحنة البحرية أو الفوقارية (كلس رصيفي وقوقعية ذات ثلاثيات الفصوص وقصيرات الأرجل).

وتنتظم هذه السحن المختلفة حسب شرطان كبيرة متوازية بصورة محسوسة مع اتجاهات الالتواء؛ أي متجهة من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي. وهكذا نستطيع فهم الملامح الكبرى للمقعر الأرضي الكاليدوني الذي تمـخَّض عن طبقات السلسلة الكاليدونية.

وعلى هذا الأساس نصادف سحن الفليش والشيست ذات الخطيات على الخصوص في دائرة البحيرات (ثخانة الشيست ٤٠٠٠م) وفي جنـوب مرتفعـات إيقوسيا الجنوبية، إذن كان هنا يقع، إلى حـدّ ما، محور الحفرة الكاليدونية، والتي تصبح ذات ثغرات تتكاثر كلما اتجهنا نحو الجنوب الشرقي.

وفي هذا الاتجاه؛ أي إلى الجنوب من قناة بريستول، كانت تقع حافة الرقعة القارية. ومن الممكن ملاحظة تغيرات مماثلة عندما نبتعد عن الحفرة الكاليدونية نحو الشمـال الغـربي لأنـه ابتـداءً من الـقسم الجنـوبي من أراضي الجنـوب المرتفعـة Southern Uplands يحل مكـان الرسوبـات الشيستيـة تشكـلات أقـــل عمقـــاً (صخور كلس) أو حتى ساحلية (رصيص) التي تأخذ، بدءاً من ماوراء جبال غرامبيان، بالانتشار فوق السطيحات Plates-Formes السـاحليـة لقـارة الأطلنطـي الشمالي.

ب ـــ حافة الترس البلطيقي

(اسكندينافيا والبلاد البلطيقية)

وتكون السحنات هنا، شأنها في الكامبري، تكون ساحلية أكثر كلما كنا في منطقة أكثر قرباً من مركز المجن (فنلندا) (شكل ٢٣٥).

وفي الإجمال، يحوي السيلوري فيه الكثير من المماثلات مع سيلوري انكلترا، فيما عدا كونه غيرِ ملتوٍ. ويكو الأوردوفيسي في معظمه مؤلفاً من سحن نيريتية وكلسية (صخور كلسية ذات Orthocères و كلسية ذات Cystidés) في جنوبي السويد، ومن سحن شبستية ذات خطّيات (غرابتوليت) في سكانيا. وقد استمرت هذه السحنة الأخيرة في سكانيا خلال الغوتلندي (نطاقات عديدة ذات خطيات) حتى أنها اجتاحت المناطق النيريتية (البحرية) في السويد الجنوبية خلال ذلك العصر. أما في أستونيا، فعلى العكس، لأن الصخور الكلسية الخالصة تستمر، وكذلك الحال في جزيرة غوتلند، وهي موقع شهير بسحناته الرصيفية والتي سمحت بمنح هذا الطابق إسمه.

جـ ـــ المقعر الأرضي في أوروبا الشمالية

ويتألف من فرع شمالي، مع الجبال الاسكندينافية ومنطقة غرامبيان (مقعر أرضي كاليدوني) حيث يكون السيلوري مندمجاً في معقدات سميكة جداً واستحالية، والتي لا تزال موضع مناقشات، ومن فرع جنوبي (بولونّيه في شمالي فرنسا، الكتلة الرينانية، الآردين، تورينج، السوديت ... إلخ) (المقعر الأرضي للآردين وبولونيا) والتي تضم رسوبات شيستية تكون بدورها سميكة وعسيرة التمايز فيما بينها.

د ـــ المقعر الأرضي الرومي (المتوسطي)

إن المناطق التي يكون فيها السيلوري معروفاً بشكل أفضل من سواها هي الجبل

الأسود، سردينيا، جبال الألب الشرقية والمغرب. ولن نتوقف هنا إلا عند الجبل الأسود، الشهير في تاريخ الجيولوجيا، وعند المغرب.

الجبل الأسود[1]: ويكون الانتقال إلى الكامبري غير محسوس فيه ويكون التريمادوسي فيه بحالة شيست ذي **Euloma** و **Niobe**. ويبدأ طابق الآرينيغ Arenig بصخور حُث[2] ذي Lingules و Bilobites ويستمر بصخور شيستية ذات Calymènes وبالشيست الذائع الصيت ذي أقراص الحلوى gâteaux (عقيدات nodules ذات ثلاثيات الفصوص العملاقة و **Niobe** و **Megalaspis**).

وهناك صخور شيست ذات خطيات وصخور كلسية ذات المثانيات Cystidés تمثل Llandeilo و Caradoc. وتنتهي الزمرة أخيراً بشيست فحمي ذي خطيات الغوتلندي، مبرقش في بعض الأمكنة بعقيدات كلسية ذات **Cardiola interruptaz**.

المغرب: يبدأ السيلوري، في المنطقة الوسطى من المغرب (المائدة المغربية Meseta) بشيست شديد السماكة ذي ثلاثيات الفصوص أوردوفيسية ويستمر بشيست ذي خطيات وعقيدات كلسية ذات Orthocères و **Cardiola** (غوتلندي) (ج. **لكوانتر**، هـ. **ترميه**). وإلى الجنوب من ذلك (منطقة الجبيلات، شمال مدينة مراكش) نصادف زمرة مماثلة. وكذلك الحال في الأطلس الأعلى حيث تندمج صخور الشيست الأساسية في كامبري شيستي كذلك (كامبرو — أوردوفيسي لدى جيولوجيي المغرب) وينتقل بصورة غير محسوسة باتجاه الأعلى نحو شيست ذي خطيات الغوتلندي.

وتبدأ السحنات الحثّية في الأطلس الصحراوي بإظهار نفسها في المعقّدات

---

(١) كتلة جبلية تؤلف الحافة الجنوبية للكتلة المركزية وتسمر في القمة السوداء إلى ١٢١٠م. واسم يطلق على خط من المرتفعات في بريتانيا الغربية، غرب فرنسا، في دائرتي فينيستير وموربيهان وهي المقصودة هنا.

(٢) أي صخر رملي أو grès بالفرنسية و Sandstone بالإنكليزية.

الشيستية، وتشتمل هنا على ثلاثيات الفصوص المتميزة (**Calymene, Asaphus, Trineuclus, illaenus, Acidaspis** ... إلخ).

وإلى جنوب ذلك وعلى مسافة بعيدة؛ أي في تافيلالت وأوغارتا، تسود صخور الحث (حث أوغارتا، مع فلزات حديد بيوضية) في الأوردوفيسي، وذلك نتيجة لظهور المجن (الترس) الصحراوي، في حين يحتفظ الغوتلندي بسحنته الشيستية ذات الخطّيات والعقيْدات الكلسية.

وأخيراً، وفي قلب الصحراء الكبرى، عثر **كيليان**، فوق صخور المجن الصحراوي المتبلورة، على صخور حث (حث تاسيلي الأسفل) تمثل الكامبري ـ الأوردوفيسي وربما تعتبر نظيرة لحث أوغارتا، والتي ترقد فوقها صخور شيست ذات خطيات غوتلندية.

هـ ـ أوروبا الوسطى

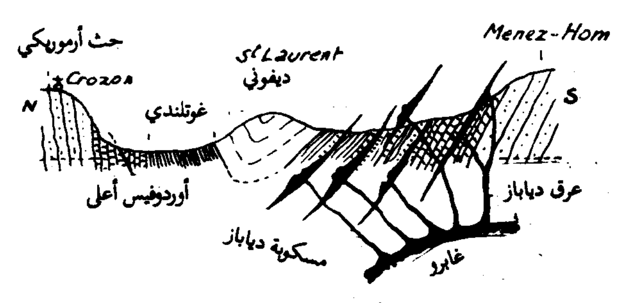
تلك هي المنطقة التي تفصل مقعر أوروبا الشمالية الأرضي عن المقعر الأرضي الرومي، وتضم المنطقتين التقليديتين: بريتانيا وبوهيميا.

أ ـ **بريتانيا**: ويظهر السيلوري فيها في مقعر مايْ وفي مقعر أورفيل.

ففي مايْ May تبدأ الزمرة **بالحث الآرموريكي** الذي تندر فيه المستحاثات (**Bilobites** أو آثار دروب حيوانية **Lingules**، ثلاثيات الفصوص) والتي تمثل الآرينيغ **Arenig**، وتكون صخور الحث هذه طاغية فوق الكامبري. بحيث نعثر هنا على ثغرة تريمادوك. ثم تأتي **فلزات حديد نورمانديا البيوضية** و **حث آنجيه Angers** ذات **Calymène** والتي تتعادل مع **Llandeilo**. وتحتل صخور **حث مايْ** التي تأتي بعدئذ، والتي لا تزال تدعى حث ذو **Conulaires** والحث الوردي، وصخور **الحث الأردوازي العليا**، الواقعة فوق طبقة كارادوك. وتختتم الزمرة بالغوتلندي ذي السماكة الكبيرة والذي يتألف في معظمه من شيست فحمي ذي خطيات (آمبيليت **ampélites**) يحتوي، في اتجاه القمة، على عدسات كلسية ذات **Cardiola** و **Orthocères**.

ويتميز سيلوري بريتانيا من ناحية أخرى بوجود مسكوبات وعروق دياباز مصحوبة بمنتجات مقذوفة. وقد أصبحت براكين مينيز ــ هوم (فينيستير) مشهورة منذ إعادة تمثيلها على يد بارّوا (شكل ٢٤٥).

ب ــ **بوهيميا**: ونجد هنا أيضاً ثغرة بين الكامبري والسيلوري الذي يكون طاغياً حيثما كان. ويتمثل هنا الأوردوفيسي بكل طبقاته وهو عبارة عن مجموعة من شيست ومن حث ومن صخر كلسي حاوٍ على المستحاثات (خطيات وثلاثيات الفصوص). أما الغوتلندي فيشتمل، على الخصوص، على شيست ذي خطّيات مع عقيْدات كلسية ذات Cardioles و Orthocères وينتهي بصخر كلسي ذي زنبقانيات وبصخور كلسية رمادية متبلورة غنية بالوحيش (بوليب، ثلاثيات الفصوص، قصيرات الأرجل، رأسيات الأرجل).



شكل ٢٤٥ ــ إعادة تمثيل البراكين السيلورية في مينيز ــ هوم (ش. باروا).

٣ ــ خلاصات جغرافية قديمة (باليوجغرافية)

لما كان توزع مختلف طوابق السيلوري على قدر طيب من المعرفة على الصعيد الجغرافي، فمن الممكن أن نخطط هنا إعادة التمثيل الجغرافي القديم لهذا العصر.

فبادئ ذي بدء أصبح وجود قارة شمال الأطلنطي، تؤلف امتداداً للقارة التي درسناها في الكامبري، أقول أصبح الآن أمراً مسلّماً به، وقد تعرضت هذه القارة

تدريجياً للاجتياح بفعل طغيانات سيلورية التي شكلت استمراراً لطغيان الكامبري الأعلى.

وإلى الشمال من هذه القارة، كان يمتد محيط قطبي ينتهي في أمريكا الشمالية بخليج كبير، في حين كانت نهايته الأخرى تقترب لتندمج في مقعر أرضي رومي (متوسطي)، والذي كانت حافّته الشمالية تحاذي الحافة الجنوبية لقارة شمال الأطلنطي؛ أي السلسلة الهورونية. وهكذا يتم تفسير وشائج النسب الوحيشي بين سيلوري السان لوران، وآكاديا ووسط الولايات المتحدة، وبين سيلوري أوروبا الشمالية.

أما المقعر الأرضي الرومي، وهو طليعة البحر المتوسط المركزي خلال الدور الثاني، والذي كانت تنبثق منه السطيحة الروسية، فقد كان محدوداً من ناحية الجنوب بقارة استوائية فسيحة تضم البرازيل، وقسماً لا بأس به من افريقيا، وشبه جزيرة الهند، ومدغسكر واستراليا.

أما وجود قارة باسفيكية فيظل افتراضياً.

وأخيراً لنتذكر بأنه في حدود نهاية السيلوري انتصبت في أوروبا السلسلة الكاليدونية (شكل ٢١٩ وشكل ٢٤٦) التي تضم كل إيرلندا تقريباً وانكلترا (باستثناء كورنوايل) والسلسلة الاسكندينافية، والآردين، والكتلة الشيستية الرينانية، وهارز وشمالي بوهيميا.

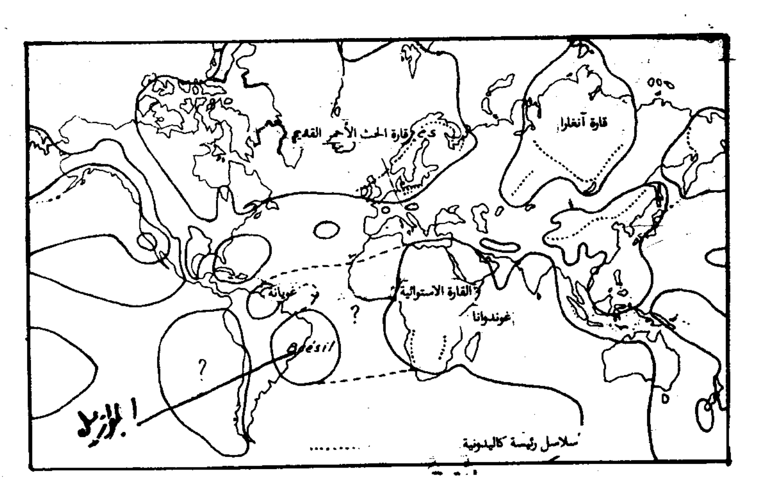
وهكذا وقبيل الديفوني بالكاد كانت رقعة قارة شمال الأطلنطي قد ازدادت إلى حدّ عظيم بتلك السلسلة التي جاءت لتنضم إلى المجال الهوروني.

الفصل الرابع

الطبقات الديفونية

١ ــ صفات عامة

لقد استعير اسم الديفوني من إقليم ديفونشاير، وهي كونتية في جنوب غرب انكلترا.



شكل ٢٤٦ ــ الجغرافيا القديمة الديفونية.

أما من وجهة النظر البالیئونتولوجية (نسبة لعلم المستحاثات)، فإن الديفوني هو عصر الأسماك المدرعة والعقربيات Gigantostracées . وراحت ثلاثيات الفصوص تتناقص، وكذلك شأن الحلزونيات Nautiloïdés ، في حين انتشرت أشباه الآمونيات (Clyménie و Goniatites). وظهرت أوائل النباتات ذات النسيج الوعائي الأصيلة في الديفوني (Psilophytales) وهذه هي أيضاً أقدم النباتات المعروفة.

ومن وجهة النظر الجغرافية القديمة (شكل ٢٤٦) فإن المجن الاسكنديناڤي، الذي توسع بفضل الالتواءات الكاليدونية، قد أصبح الآن ملتحماً بقارة الأطلنطي الشمالي، كما توضحت معالم البحر المتوسط الشرقي أكثر فأكثر (بحر تيتيس Thetys وميزوجيه Mésogée).

وراحت التضاريس الكاليدونية تتخرب تدريجياً وتشكلت على حساب أنقاضها **«صخور الحث الحمراء القديمة»**، وهو تشكل صحراوي يصادف في انكلترا الشمالية وفوق المجن الكندي والمجن البلطي اللذين يحتلان موضعاً مناظراً للنهايتين المتقابلتين من قارة شمال الأطلنطي الكبرى. وعلى هذا الأساس وجب أن تكون الأوضاع الجغرافية والمناخية التي تحققت في هذه المنطقة الواسعة منسجمة جداً.

ويكون الديفوني منتشراً بشكل فريد في الآردين (شمال شرق فرنسا) وفي هذه المنطقة تم اقتباس نماذج الطوابق الرئيسية:

الديفوني الأعلى

فامنّي (شيست Famenne ذو **Spirifer Verneuilli**)

فراسني (شيست وكلس Frasnes ذو **Atrypa reticularis** ، **Orthis Striatule** **Gephyroceras intumescens**).

الديفوني الأوسط

جيفيتي (كلس Givet ، ذو وحيش مرجاني، **Stringocephelus Burtini** و **Uncites gryphus**).

إيفـــيلي (شيست وصخـــور كلس Couvin وإيفـــــل ذو **Calceola Sandaline** ، **Spirifer Cultrijugatus**) .

الديفوني الأسفل

كوبلنسي (شيست Coblence ، حث ذو **Athyris undata**) .

جيدينّـي (شيست Gédinne ورصيص فيبان) .

٢ ــ التوزع الجغرافي

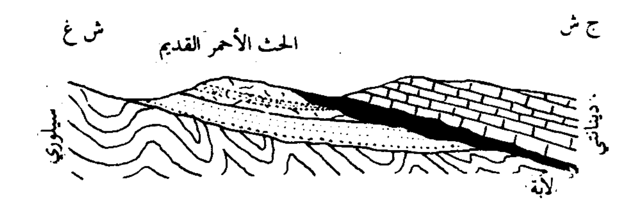
أ ــ منطقة الحث القديم الأحمر أو سحن الديفوني القارية

يعرض الديفوني نفسه في هذه المنطقة التي تضم الجزر البريطانية ، باستثناء الجنوب ، والمجن البلطي ، على شكل حث لاغوني أو صحراوي سميك جداً يكاد يكون أفقياً . وهذه المنطقة ، التي ظلت مستقرة منذ الالتواءات الكاليدونية ، هي التي تمثل حقاً السلسلة الكاليدونية .

ويتم الانتقال من السيلوري البحري إلى الديفوني شبه القاري بواسطة طبقات انتقالية مختلطة ، حيث تتداخل السافات البحرية الصرفة ذات رخويات وقصيرات الأرجل مع الطبقات اللاغونيـة ذات الأسماك المدرعـة والعقربيـات Gigantostracés والسافات ذات الهياكل العظمية . ويطلق على هذا المجموع من الطبقات حالياً اسم **داونتوني Downtonien** والتي تعتبر كأساس للديفوني .

أما بالنسبة لصخور الحث القديمة الحمراء فتظهر أجمل انكشافاتها على ساحل إيرلندا الجنوبي ، وفي جنوب وجنوب شرق بلاد الغال ، وجبال شفيوت (شكل ٢٤٧) ، ولاولاند Lowlands ونهاية الهايلاند وكذلك في جزر أوركاد وجنوبي خليج فنلندا ... إلخ . وليست كل هذه الانكشافات ، التي تبدو أحياناً صغيرة الرقعة ، أكثر من مزقات غطاء كان في السابق شديد الاتساع والذي عمل الحت على تهديمه والذي كان يغطي

قارة فسيحة . وتكون هذه الصخور الرملية (الحث) الشديدة السماكة والوردية اللون ، صفراء أو خبّازية mauve ، صفاحية ومندمجة دائماً مع رصيصات ، ومع مارنّيات وحتى مع تكوينات حاوية على الملح (جبس ، ملح صخري) . ويكون التطبق فيه متصالباً على الغالب ، كما أن الوحيش الذي نجده فيه ، فريداً جداً ومن نمط مفتقر : عقربيات Gigantostracés ، أسماك مصفحة ولامعات Ganoïde بدائية هي **Holophtychius** . وتتحول صخور الحث الحمراء القديمة باتجاه الجنوب ، جانبياً إلى الديفوني البحري . وقد قادت كل هذه الصفات الجيولوجيين إلى اعتبار هذا الحث الأحمر القديم كتشكلات رملية عتيقة شبه صحراوية سبق لها أن تكدست فوق قارة واسعة على حافة البحر الديفوني ، والذي كان تخمها مشخّصاً على الخصوص بنهاية إيرلندا الجنوبية الغربية وببلاد الغال وبالمنطقة المحصورة بين ليفونيا (ساحل روسيا على البلطيق) والبحر الأبيض (الحافة الجنوبية الشرقية للمجن الكندي) . وتكون هذه المناطق ، التي تتداخل فيها السحن الحثية والسحن البحرية على قدر فريد من الأهمية لإقامة التزامن بين الزمرتين .



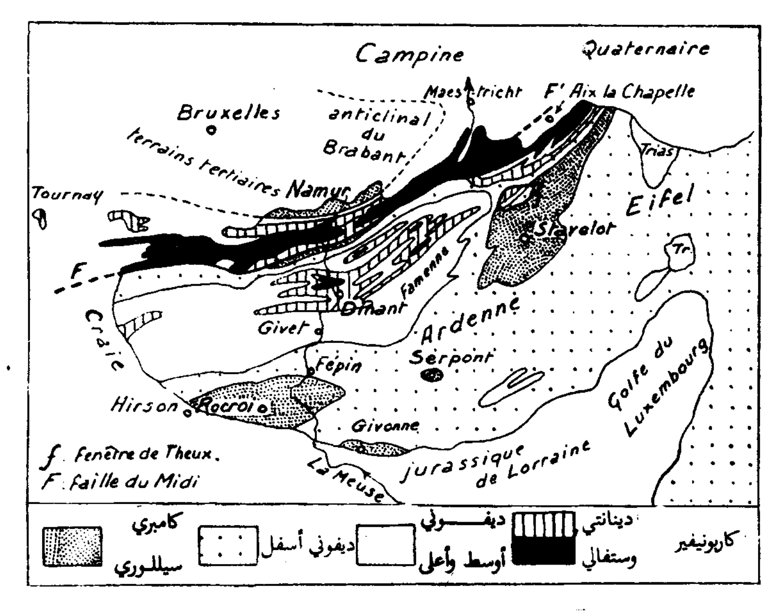
شكل ٢٤٧ ــ مقطع لجبال شفيوت (نورثمبرلند) (غوتشيلد) ويظهر منه الوضع الستراتيغرافي لصخور الحث الحمراء القديمة .

ب ــ المنطقة ذات السحنة المختلطة البحرية في أوروبا الوسطى

أ ــ الآردين : تلك هي منطقة تقليدية (غوسّليه) ، كما سبق ورأينا ، لدراسة الديفوني الفرنسي ــ البلجيكي (شكل ٢٤٨) . فالديفوني الأسفل الطاغي transgressif يكون فيها حطامياً ومؤلفاً من حث ورصيص (بودينغ) بينما يكون الديفوني الأعلى شيستياً على الغالب . ويرقد المجموع الملتوي (التواءات هيرسينية)

بتنافر فوق السيلوري. إذن تكون الآردين عبارة عن كسرة من السلسلة الكاليدونية تلقّفتها الالتواءات الهيرسينية خلال الكاربونيفير. وكانت في خلال الديفوني تابعة للحافة الجنوبية من قارة الحث الأحمر القديم وتكوّن التوضّعات المتعاقبة طغيانية فوق هذه الركيزة من الجنوب باتجاه الشمال.

ولما كانت هذه المنطقة تابعة للكتلة الشيستية الرينانية الكبرى فهو يبدو كبقعة واسعة من صخور قديمة تتخذ شكل هلال يطفو في وسط الصخور القديمة. ويتوزع الديفوني فيها حسب الطريقة التالية، من الشمال إلى الجنوب، وفي عناصر تكتونية متعاقبة. ففي محدب برابان **Brabant** حيث تظهر الركيزة السابقة للديفوني **antédévonien**، فإن الديفوني الأوسط والأعلى هما الوحيدان المعروفان. وكذلك الحال في الجنوب، ضمن حوض نامور السنكلينالي الفسيح (شكل ٢٤٩). وهناك سطح كبير من الجرف **Charriage** يفصل هذه المنطقة عن الثانية أو منطقة كوندروز الذي



شكل ٢٤٨ ـ مخطط جيولوجي في الآردين (م. جينيو).

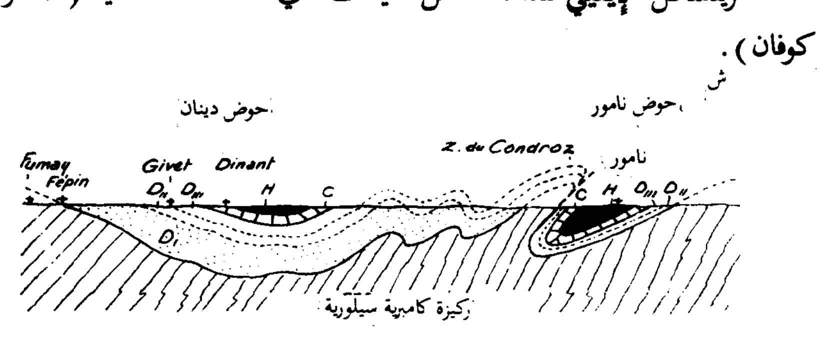
يعرض نفسه كمحدب مصدوع سيلوري محفوف من الشمال بالديفوني الأوسط أو الأعلى، ومن الجنوب بالديفوني الأسفل. هذا ويحوي حوض دينان السنكلينالي ديفونياً

كاملاً على حافتيه. وأخيراً فإن رقعة الآردين الآنتيكلينالية، التي تؤلف القسم الأعظم من هذه المنطقة الطبيعية، تكون مؤلفة أساساً من ديفوني أسفل بحري تظهر من تحته بعض العروات boutonniéres من صخور أقدم (كامبرو ــ سيلوري) مؤلفة بقعاً آنتيكلينالية صغيرة كمنطقة روكروا، جيفون، سيربون، ستافولو.

هذا ويكون الديفوني نامياً جداً على الحافة الجنوبية لمقعر دينان ويعرض مقطعاً تقليدياً على طول وادي نهر الموز: وهنا يبدأ **الجيديني Gédinien** المتنافر فوق الكامبري، برصيص Fèpin المغطّى بآركوز هايب Haybes. ومن فوقه تأتي صخور شيست موندروبوي Mondrepuis، ثم شيست وايني Oignies المبرقش ذو مصفحات الجلد Placodermès القريبة من سمك القرش.

ويبدأ **الكوبلنسي** هنا بحث آنور Anor، المتبوع بغروواك Montigny مع سافات شيستية غنية جداً بالمستحاثات (ثلاثية الفصوص وقصيرات الأرجل) (كوبلنسي أسفل أو سييغني Siegenien) ثم تأتي صخور حث وشيست فيرو Vireux، وأخيراً غرواك هييرج Hierges الشديد الغنى بالمستحاثات (كوبلنسي أعلى أو إيمسي Emsien).

ويتشكل **الإيفيلي Eifélien** من شيست ذي عدسات كلسية (صخر كلس كوفان).



شكل ٢٤٩ ــ مقطع تبسيطي للصخور الديفونية والكاربونيفيرية في حوضي دينان ونامور. حسب مجرى وادي الموز (Ď، ديفوني أسفل. D̋: ديفوني أوسط. D، ديفوني أعلى. C، دينانتي. H، وستفالي).

ويتمثل **الجيفيتي Givétién** بصخور كلس جيفيه Givet ذات الوحيش الرصيفي الجميل.

ويكشف **الفراسني**، في قاعدته، عن شيست وصخور فراسن Frasne الكلسية مع عدسة من كلس رصيفي كثير المستحاثات، ثم تأتي صخور شيست صرفة تظهر فيها أوائل أشباه الأمونيات (Gephyroceras intumescens) (شيست Matagne).

ويعرض **الفامنّي** هنا نموذجه من شيست فامن Famenne.

وهناك تغيرات هامة في السحنة تستحق التنويه بها في مجال منطقة الآردين. وهكذا نجد باتجاه الجنوب؛ أي في المنطقة الواقعة إلى الجنوب من كتلة مرتفعات سيربون، آن الجيديني والكوبلنسي يصبحان شيستيين كلياً، اما باتجاه الشمال، فعلى العكس، يصبح الديفوني ذا ثغرات وساحلياً (بسامّيت فوز Fooz، وهي سافات برونو Brunot الخشنة بالنسبة للديفوني الأسفل، وبسامّيت كوندروز في الفامينّي، ثغرة الديفوني الأسفل في حوض نامور، وحتى في الإيفيلي عند حافة محدب برابان، حيث يبدأ الديفوني بالجيفيتي مع رصيص القاعدة).

ب ــ **الكتلة الشيستية الرينانية**: تتمدد الكتلة الآردينية في اتجاه الشرق **بالكتلة الشيستية الرينانية**، حيث يكون الديفوني، بدوره، كثير الانتشار ونال دراسة إضافية. ولا يزال الجيدينّي، الحثّي ــ الشيستي، غير معروف تماماً، في حين يكون الكوبلنسي واسع الانتشار وتمّ تقسيمه فرعياً إلى طابقين: سييغني Siegenien في القاعدة (غروواك، شيست وحث سييغن Siegen، الشديد الغنى بالمستحاثات، كوارتزيت تاونوس وشيست هونسروك)، والإيمسي Emsien في الأعلى (غروواك كوبلنس الشهير بغناه بوحيشه)[1]. هذا وقد ضَمُرت السحن الحطامية خلال الديفوني الأوسط في الوقت الذي بدأت تظهر للوجود السحن الكلسية ولا سيما في موقع إيفل Eifel، بينما كانت طبقات الشيست العميقة تترسب في مقعر هسّ Hesse مع عضويات بيلاجية (بحرية عميقة) (المجسيّات Tentaculites) ورأسيات الأرجل

---

(١) تكون هذه الغروواك هنا عبارة عن شيست خشن متسلّيس ومتأكلس (فاقد للكلس نتيجة التحلل) بحيث تبدو القواقع المستحاثة فقط على شكل قوالب جوفاء.

(نطاقات تقليدية لـ Goniatites) وعلى كل حال تستمر السحن الحطامية ، إلى الشمال من سوويرلند ؛ أي عند الاقتراب من قارة الحث الأحمر القديم ، تستمر السحن الحطامية (حث أحمر) وذلك في معقدات شيستية (شيست لين Lenne) .

ويتشكل الفراسني من صخور كلسية مارنية ذات رأسيات الأرجل (مارنيات ذات غونياتيت Goniatites بيريتية تشكل نطاقات تقليدية ، و **Gephyroceras intunescens**) . وأخيراً يشتمل الفامنّي Famennien ، الذي لا يزال أكثر عمقاً ، على شيست ذي استراكودا Ostracodes وذي غونياتيت (نوع **Cheiloceras**) ، وينتهي بصخور كلسية شبه لوزية ذات Clyménies . ولنضف أن الديفوني الأوسط والأعلى في هذه المناطق الرينانية يحتوي على طف بركاني وعروق طبقية من دياباز ، كما يحوي الديفوني في الكتل الهيرسينية من أوروبا (هارز وبوهيميا) سحناً مماثلة جداً للسحن التي سبق أن لاحظناها قبل قليل في المناطق الرينانية .

جـ ــ بولونّيه Boulonnais : تمثل هذه المنطقة التي تمدد حوض نامور نحو الشمال الغربي ، إذن ، عودة صخور الآردين القديمة للظهور بعد تلاشيها في هذا الاتجاه تحت الطبقات الكريتاسية . ويكون الديفوني فيها ، شأنه في حوض نامور ، ساحلياً وغير كامل (فيبدأ بالجيفيتي بحالة رصيص كافييه Caffiers ويستمر بكلس بلاكور Blacourt الرصيفي) . وتظهر في القمة السحنة الحثية الحمراء .

د ــ بريتانيا : هذا ويظهر الديفوني الكامل في مقعري لافال وشاتولان على الخصوص (شكل ٢٤٢) . أما في المقعرات الأخرى ، فإن الأساس ينعدم في أكثر الأحيان ، وهكذا نجد أن الزمرة تبدأ في مقعر آنجيه Angers بالكوبلنسي ، مثلما تبدأ في مقعر آنسنيس Ancenis بالإيفيلي . هذا ويكون الساف الأكثر تمييزاً في مقعر لافال ــ شاتولان مؤلفاً من كوارتزيت بلوغاستل Plougastel (فينيستير) والذي يمثل الجيدينّي ، وتأتي من فوقه بالتعاقب صخور الكلس الكوبلنسية ، ثم صخور شيست تسمح مستحاثاته بالتعرف على بقية الديفوني ، ولا سيما الفامينّي (شيست ذو Cypridines وغونياتيت) . وتجدر الإشارة إلى أن الديفوني في مقعر نيهو Nehou

لا يشتمل سوى على الكوبلنسي الأسفل (كوارتزيت وكلس حيواني المنشأ في نيهو، في شبه جزيرة كوتنتان).

وهكذا فإن قصة هذا الديفوني البريتاني تبدو على قدر من التعقيد بفعل تزحزح البحر الذي تم من الشمال باتجاه الجنوب.

جـ ـ الديفوني ذو السحنة العميقة (المقعر الرومي أو المتوسطي)

وهي سحن شيستية أو كلسية وحلية، استحالية أحياناً، وملتوية على الدوام (سلسلة هيرسينية) وفي حالة استمرارية بالترسب مع الطبقات الأقدم والأحدث. ويصادف هذا النمط على الخصوص في الجبل الأسود (بريتانيا) وفي الماسيف سنترال، وجبال البيرينيه، والفوج، وجبال الألب الشرقية، وسردينيا والمغرب، وكل المناطق التي يتحقق فيها الوضع الجيوسنكليناني.

أ ـ الجبل الأسود: ونجد في ديفوني هذه المنطقة كل الصفات التي عدّدناها قبل قليل. فعند الأساس نجد الحث والدولومي (جيدينّي) ثم تأتي بعدها صخور كلسية حيوانية المنشأ ذات ثلاثيات الفصوص وقصيرات الأرجل (كوبلنسي ـ إيفيلي). وتبدأ سحنة الصخور الكلسية الوحلية الدقيقة بالجيفيتي (صخور كلسية بيضاء في قمة بيسّو Bissous ذات غونياتيت). وأخيراً فإن الديفوني الأعلى يستمر بسحناته الكلسية، التي تصبح مائلة للحمرة ولوزانية amygdalaires (مرمر ـ غريوت)[1] والتي لا يضم وحيشها سوى غونياتيت، وعند القمة تماماً، مستحاثات Clyménies العائدة للفامينّي الأعلى.

ب ـ جبال الفوج: يمكن دراسة هذا الديفوني في الزمرة الاستحالية المسماة الديفونية الدينانتية[2] ولا سيما في وادي بروش وفي غران بالـلّون. وفي الموقع الأول

---

(١) وهو مرمر أسمر ـ أحمر مع بقع بيضاء Marbres-gariottes.

(٢) نسبة إلى مدينة Dinant البلجيكية.

يتألف من مركّب مؤلف من حث ناري فتاتي Pyroclastique ومن شيست تحتوي، قرب شيرمك Schirmeck ، على مرمر مرجاني مجبول بمستحاثات الديفوني الأوسط .

جـ ـ **المغرب**: يكون الديفوني في الميزيتا Miséta (أواسط المغرب) كاملاً وفي حالة استمرار ترسب مع السيلوري . ويتألف في الأساس (ديفوني أسفل) من شيست ذي عدسات كلسية ومن غروواك ذي ثلاثيات الفصوص. وتظهر السحن الكلسية الرصيفية في الديفوني الأوسط (كلس ذي بوليبيات و Stromatopores). وثم، وفي الديفوني الأعلى، تبدو السحن الشيستية العميقة ذات رأسيات الأرجل وقد اجتاحت المنطقة.

وتبدو كتلة الجبيلات، في شمال مدينة مراكش، وكأنها تشكل عتبة خلال الديفوني الأسفل ـ الأوسط، لأن الديفوني لا يتمثل فيها إلّا بصخور كلسية وبكوارتزيت فراسني ـ فامينّي .

ونعثر على ديفوني، متناظر مع ديفوني الميزيتا، في الأطلس الكبير، وفي حالة استمرارية مع الغوتلندي، وهو كامل بلا ريب. ولكن الديفوني الأسفل هو الوحيد الذي تم الكشف عنه حتى الآن في الأطلس الصحراوي .

ولكي نعثر على ديفوني كامل وحاوٍ على المستحاثات علينا أن نذهب حتى الصحراء الكبرى الشمالية الغربية، وهنا أيضاً، تصبح السحن عميقة تدريجياً في الزمان، لأنها عبارة عن حث ذي ثلاثيات الفصوص في الديفوني الأسفل، ثم تأتي صخور كلسية وشيست في الديفوني الأوسط، وأخيراً صخور شيستية وكلسية ذات غونياتيت و Clyménies وهي التي تختتم الزمرة .

ونعثر في جبال الأورال على سحن جيوسنكلينالية ديفونية تتحول تدريجياً إلى سحن بحرية خاصة بالسطيحة الروسية Plateforme .

أما في أمريكا فإن الديفوني يشاهد فيها على الخصوص في الجبال الصخرية، وفي السلاسل الباسفيكية، وعند حافة المجن الكندي. وتدل طبيعة التوضعات على أن البحر قد طغى تدريجياً على القارة الأمريكية من الشرق إلى الغرب ومن الجنوب نحو

الشمال خلال الديفوني الأوسط والأدنى ومن الشمال الغربي خلال الديفوني الأعلى الذي ينتهي، في كل الأمكنة، بتشكلات حثية جسيمة. ونعثر على الحث القديم الأحمر الصرف عند حافة القارة الكبرى لشمال الأطلنطي (برنسويك الجديدة، مع وحيشات من أسماك مدرَّعة تذكرنا بمثيلاتها في أوروبا (قارة الحث الأحمر القديم).

الفصل الخامس

الصخور الفحمية Anthracolithiques
(الكاربونيفير والبرمي)

١ ــ صفات عامة

تبدو الصفات الباليئونتولوجية للكاربونيفير وللبرمي شديدة التقارب، بحيث يكون من الأفضل ضم هذين العصرين لدراستهما. وجاء اسم كاربونيفير من أنه يعثر فيه أحياناً على الفحم، كما اقتبس اسم البرمي من مدينة برم في شرق روسيا.

وبعد أن ظل النبيت عاجزاً عن أن يلعب أي دور في العصر السابق؛ أي الديفوني، راح يكتسب هنا، على العكس، أهمية من المستوى الأول، سواء من حيث تنوع النماذج أو من حيث إفراطه. ولقد تفرّد هذا النبيت الفحمي خلال الديفوني الأعلى، وفي الكاربونيفير بلغ أوجه، وكان لا يزال في البرمي شديد الانتشار. ونتذكر أنه مؤلف من خفيات الإلقاح الوعائية العملاقة (Sigillaires, Lépidodendrons, Calamites)، التي تشكل الجوهر، والمشتركة مع عاريات البذور Ptéridospermes وسرخسيات وبعض عاريات البذور البدائية.

وهذا النبيت، الغديري في معظمه، هو الذي سيساهم، وذلك ضمن شروط

طبيعية وبيولوجية خاصة سبقت دراستها، في تكوين هذه التراكمات الفسيحة من المحروقات المعروفة تحت اسم الفحم الحجري، والتي ستحشر في النصف العلوي من الكاربونيفير.

ولا بأس من التذكير بأنه، حوالي نهاية الديفوني، وذلك على الأقل في أوروبا، كان يوجد إلى الشمال من رقعة قارية، هي قارة الحث الأحمر، بينما كان يمتد إلى الجنوب البحر الأبيض المتوسط المركزي أو بحر ميزوجيه **Mésogée**.

ومنذ بداية الكاربونيفير راح البحر يجتاح قارة الحث الأحمر القديم كي يوضع صخر الكلس الكاربونيفير (طابق دينانتي)، وهو تشكل يمكن مصادفته فوق كل الجزر البريطانية والآردين تقريباً، والذي يمثل سحنة بحرية (العديد من قصيرات الأرجل: **Pnoductus** و **Spirifer**) فوق السطيحة القارية. وإلى الجنوب تظهر سحن عميقة توضعت، على العكس، في بحر الميزوجيه (شيست ذات غونياتيت) في حين كانت سحنة «فليش» تتشكل في بريتانيا، وفي ديفون، وفي الفوج والكتل الجنوبية الرينانية (كولم Culm).

ومن ثم، وحوالي نهاية الدينانتي، راحت الأوضاع الجغرافية القديمة تتغيَّر، وأعقب الصخر الكاربونيفيري البحري، معقّدات قارية، غنية جداً بالعديد من النباتات المستحاثة، الحاوية على طبقات من الفحم. وقد نشأت طبقات الفحم الحجري المذكورة في أحواض ضحلة واقعة سواء بجوار البحر (أحواض تدعى **Pareliques** وحيث تظهر بعض طبقات بحرية مندسة في تكوينات بحيرية) أو في داخل القارة (أحواض بحيرية، مؤلفة حصراً من طبقات في الماء العذب).

ففي الحالة الأولى، تمّ توضّع الفحمي في خارج المحدب الجبار **géanticlinal** لأوروبا الوسطى (قيعان ضحلة كاليدونية في بحر الميزوجيه) وبالتالي يكون متوافقاً فوق قاعدته.

أما في حالة الأحواض البحيرية فقد كان الفحمي **Houiller** على العكس متنافراً

فوق الطبقات الملتوية من هذا المحدب الجبار ـــ الكورديللير، إذن فوق الدينانتي الذي يؤلف الطبقة الأحدث.

وقد أوجد هذا المقعر العملاق، الذي يطابق الطور السوديتي [1]، أوجد في بحر الميزوجيه منطقتين كبيرتين: في الشمال منخفض لاغوني واسع يتصل باتجاه الشرق، بواسطة ذراع البحر الروسي، وإلى الجنوب كان يقع بحر الميزوجيه الصرف ذو الصفات البحرية البحتة والذي راحت تنتشر فيه المغزليات **Fusulinidés**.

وتسمح دراسة النباتات المستحاثة والوحيشات البحيرية بأن نميز العديد من المستويات المميزة والتي يمكن ضمّها في طابقين كبيرين: الوستفالي في القاعدة (نسبة إلى وستفاليا) المتميزة بغزارة **Sigillaires** وعاريات البذور **Ptéridospermées** والستيفاني بالقمة حيث تغزر السرخسيات **(Pecopteris)** و **Cordaïtes**، والتي يؤلف مجموعها أراضي الفحمي. وتكون قاعدة الوستفالي خالية أحياناً من الفحم وتضم العديد من الطبقات البحرية: «وهذا الفحمي بدون فحم» الذي يتضاد بذلك مع «الفحمي المنتج» الذي يوافق طابق النامور ي[2].

وتكون أواخر الطبقات الكاربونيفيرية مغطاة في أوروبا الغربية بصخور حطامية خالية من المستحاثات (حث، ورصيص، شيست، مع طبقات من جبس وملح صخري) ذات ألوان صارخة، حمراء على العموم: تلك هي «صخور الحث الحمراء الجديدة» أو **Rothiegende** لدى المؤلفين الألمان. ويبدو أصلها مماثلاً لأصل الحث الأحمر الديفوني؛ أي إنها عبارة عن تكوينات لاغونية صحراوية. وتحمل هذه التشكيلات، التي تشير بذلك إلى بداية البرمي، إسم الطابق الأوتوني (نسبة إلى أوتون في أواسط فرنسا)، وذلك عندما يتم الانتقال إلى الستيفاني بواسطة طبقات شيستية ذات نباتات، وتقابل السحن الحطامية المتنضّدة الطابق السكسوني. وأخيراً وحوالي نهاية البرمي تشكل بحر داخلي كبير فوق ألمانيا الشمالية وانكلترا والذي توضّعت فيه

---

(١) نسبة إلى الألمان الذين كانوا يقطنون الجزء الشمالي الغربي من جمهورية تشيكوسلوفاكيا.

(٢) نسبة إلى مدينة نامور البلجيكية.

صخور كلسية دولوميتية ذات وحيش مفتقر : ذاك هو **Zechstein** لدى الجيولوجيين الألمان أو الطابق التورنجي[1].

وقد تمادت السحن البحرية خلال كل البرمو ــ كاربونيفير في ذراع البحر الروسي وفي المناطق الروسية (المتوسطية) بحيث نعثر فيه على تعاقب، لا انقطاع فيه، من طبقات بحرية صريحة.

وتكون هذه الطبقات غنية بالمستحاثات وبالأشكال المتنوعة، ولكنها تكون متميزة أساساً بمنخربات كبيرة تنتسب إلى مجموعة المغزليات، وهكذا كان من الممكن هنا تعريف عدد من الطوابق الخاصة والتي يتم موازاتها مع الطوابق القارية في أوروبا الغربية على الشكل التالي :

	سحن قارية (أوروبا الوسطى)		سحنة بحرية (روسيا)
برمي	تورينجي		قازاني
	سكسوني		كونغوري
	أوتوني		آرتينسكي
كاربونيفير	ستيفاني		أورالي
	وستفالي	أعلى وستفالي . دون تطبق	موسكوفي
		أسفل ناموري	ناموري
	دينانتي	فيزي	دينانتي
		تورنيزي	

---

(١) نسبة إلى إقليم تورينج Thuringe في ألمانيا الشرقية.

وأخيراً حدثت حركات كبيرة مولدة للجبال خلال الدور البرمي ــ الكاربونيفير وأدت إلى انبعاث «**السلسلة الهيرسينية**» ولكن تخصَّص هذه التسمية للمناطق الملتوية خلال البرمو ــ كاربونيفير والتي ظلت، من بعد، مستقرة، لأننا نجد في بعض المناطق (الألب، البيرينيه) كتلاً هيرسينية وقد انضمت إلى الالتواءات الألبية الأكثر حداثة. وعلى هذا الأساس نعثر على آثار السلسلة الهيرسينية، التي عرّفناها، في إقليم كورنوايل، بريتانيا، الماسّيف سنترال، الفوج، الغابة السوداء، الآردين، الكتلة الشيستية الرينانية، هارز، بوهيميا، الميزيتا (الهضبة) الاسبانية والميزيتا المغربية. وتكون طبقات الحقب الثاني في كل الأمكنة متنافرة فوق الأساس القديم، ولهذا السبب كان الانقطاع الكبير بين الحقب الأول والثاني هو ذلك التنافر الهيرسيني.

وتقع البرهة الصحيحة لهذه الالتواءات على الخصوص في بداية أو حوالي نهاية الوستفالي وتكون الاتجاهات الناجمة عن ذلك مميزة جداً: من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي في النطاق الغربي تماماً من أوروبا (كورنوايل، بريتانيا، الآردين الغربية والماسيف سنترال) (اتجاه آرموريكي). ومن الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي في أوروبا الوسطى (الآردين الشرقية، الكتلة الشيستية الرينانية، الجزء الغربي من الماسيف سنترال الفرنسية، الكتل massifs الهيرسينية من أوروبا الوسطى) (اتجاه فاريسكي أو هيرسيني)[1].

---

(١) لقد قسم ستيل H. Stille هذه السلسلة الهيرسينية بصورة تفريعية على الشكل التالي: انبعاث المحدب العملاق في أوروبا الوسطى (بين الفيزيئي Viséen والناموري) الذي يقابل طوره السوديتي (تلك هي المرحلة السيغالونية في جبال الألب الغربية حسب لوجون Lugeon)، ومن ثم يقع الطور الرئيسي أو الآستوري بين الوستفالي والستيفاني والذي عامت خلاله الأحواض الغديرية Paraliques مع الطور الساآلي (الطور الآلـو بروجي عند Lugeon = الطور الابالاشي) ونهض الأورال بدوره، وذاك هو الطور الهيرسيني الرئيسي الذي يقع بين الأوتوني والسكسوني، وقد أنجز الأورال شكله وكيانه في الطور الثالثي أو البالاتيني، والذي ختم هندسة الكيان الهيرسيني في أوروبا بتوحيد آسيا مع أوروبا نهائياً بفضل جبال الأورال.

٢ ــ توزع الكاربونيفير الجغرافي

أ ــ الكاربونيفير في انكلترا

ويتألف أساساً من ثلاثة طوابق هي التالية من الأسفل إلى الأعلى، وتكون موزعة بصورة متفاوتة للغاية: **الصخر الكلسي الجبلي Mountain Limestone** أو الكلس الكاربونيفيري (دينانتي)، و **حث حجر الرحى Millstone Grit** (تكوين انتقالي من الدينانتي إلى الوستفالي، أو النامور‌ي)، و **Coal measures** أو الفحمي المنتج (وستفالي أعلى).

الصخر الكلسي الجبلي Montain Limestone: ذاك هو الكلس الكاربونيفير البحري، والذي اكتسب هذا الإسم لأنه هو الذي يشكل قوام السلسلة البينينية Pennine. وقد أمكن التوصل إلى تقسيمات فرعية بالپاليونتولوجية فيها بالاستعانة بمدخات (بوليبات) Polypiers، التي بدت كمستحاثات جيدة. وفضلاً عن المدخات نصادف فيها الكثير من المستحاثات الأخرى ولا سيما أشباه الزنبقانيات وقصيرات الأرجل **(Productus giganteus)**. وتتراوح سماكة الصخر الكلسي الفحمي بين بضع مئات الأمتار إلى ١٢٠٠م تقريباً، ونصادفه على الخصوص في جبال البنين وجنوب شرق بلاد الغال (منطقة بريستول)[1].

ونجد في مناطق أخرى، وعلى مستوى الكلس الكاربونيفيري النموذجي، صخور شيست حثية بصورة متفاوتة وشديدة الالتواء، وقد تكون أحياناً متحولة ومحقونة بغرانيت: تلك هي سحنة كولم Culm، المتميزة من جهة أخرى بوجود شيست ذي أشباه الأمونيات **(Prolecanites)** وشعاعيات.

---

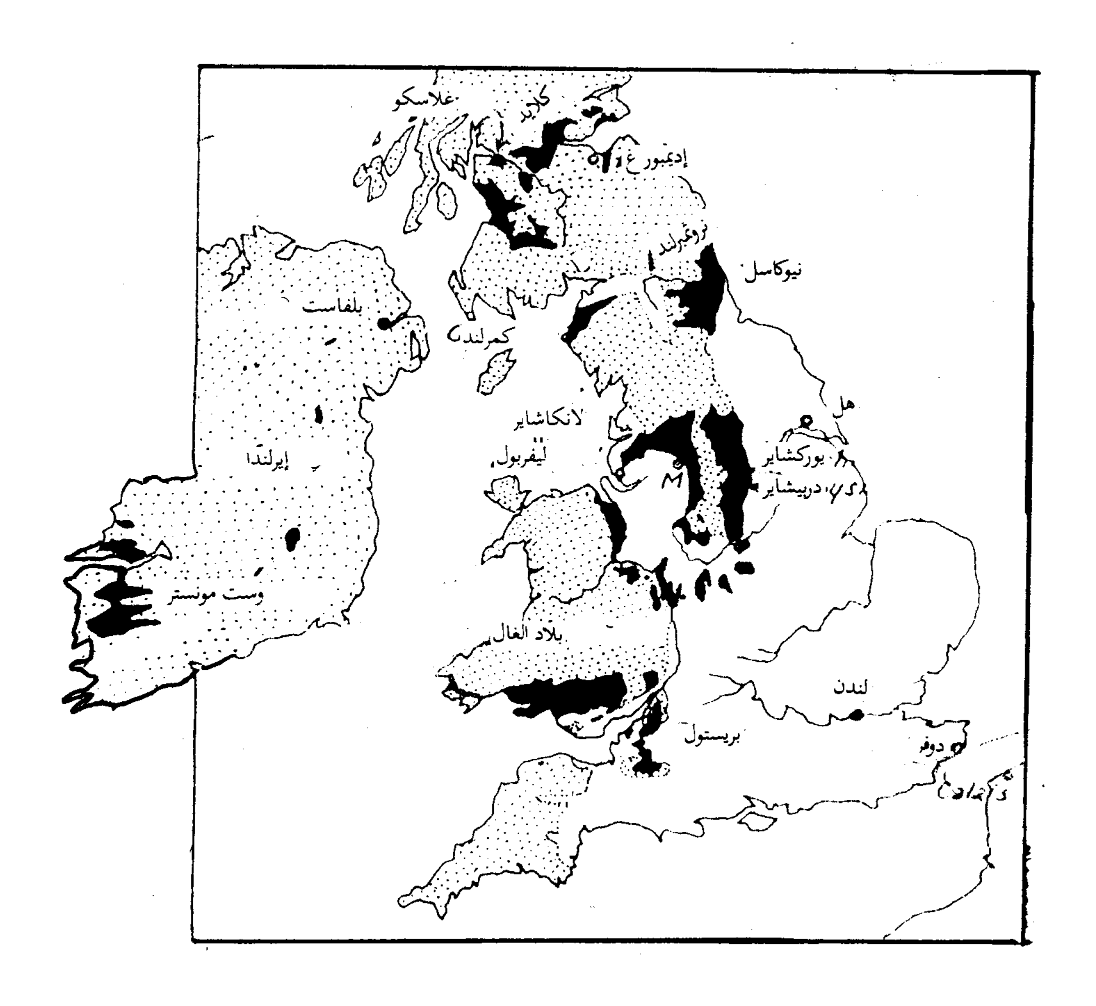
(١) وهنا يجب التمييز بين جبال بنّين Pennine الممتدة من الشمال للجنوب في انكلترا وسلسلة جبال آبنّين Apennin التي تشكل العمود الفقري في شبه الجزيرة الايطالية.

أما في منطقة نورثمبرلاند ومناطق لاولاندس الايقوسية، فإن هذه الزمرة تتألف، على العكس، من حث ذي وحيش قاري وفوقها معقدات حثية شيستية ذات طبقات فحم مستغلة وشيست بيتومي، وتنتهي الزمرة بصخور كلسية نصادف ضمنها أيضاً طبقات من فحم. وهكذا نرى إذن أن استغلال الفحم في إيقوسيا يقع في الدينانتي.

حث حجر الرحى Millstone Grit : ذاك هو حث حجر الرحى، وهو مجموع سميك منتشر جداً ولا سيما على شكل آركوز في كل انكلترا الوسطى والشمالية، ويتألف من صخور نتجت، كما سبق ورأينا، عن تهديم المرتفعات الغرانيتية. وقد تبلغ ثخانته في سلسلة بنّين أكثر من ١٠٠٠م. ونجد فيه في بعض الأمكنة تناوبات بحرية تكون مستحاثاتها (غونياتيت، قصيرات الأرجل، بوليبات «مدخات») ونباتات) وهي مستحاثات الناموري ذاتها. ونجد حتى في بعض النقاط طبقات فحم ورصيصات، بحيث أصبح من المقرر تشبيه حث حجر الرحى بتكوين دلتائي سبق أن نشأ عند حافة قارة شمال الأطلنطي.

الفحمي القياسي Coal measures : يدل هذا التكوين على الأحواض الفحمية الرئيسة في انكلترا ويقابل الوستفالي (شكل ٢٥٠). وهو عبارة عن معقدات حثية وشيستية مع طبقات فحم يبدو أنها نشأت **محلياً** في لاغونات واسعة غاصة ومحاطة بنبات غابي غاية في الكثافة. ويتراوح السمك الكلي لطبقات Coal measures بين ٢٥٠٠ و ٣٥٠٠م ولعروق الفحم فيها ثخانة وسطى تبلغ ٦٠ سم.

هذا ويكاد يكون القسم الأسفل من تكوين Coal measures **(Lower Coal measures)** خالياً من الفحم (طبقات ذات نباتات بحرية وذات **Carbonicola**)، ولكنه يحوي العديد من التناوبات البحرية الشيستية ذات المستحاثات البحرية (غونياتيت) الكامنة على العموم ضمن عقيدات كلسية مغنيزية تدعى **«Coal balls»** ويجدر بنا التنويه بوجود حث كوارتزيتي شديد القساوة أو **«Gannister»**. يستخدم لصنع القرميد الصامد للحرارة (الناري) ولتبليط الشوارع.



شكل ٢٥٠ ــ خارطة الأحواض الفحمية في الجزر البريطانية.

يرمز اللون الأسود إلى انكشافات الأحواض الفحمية، واللون الرمادي إلى الأراضي السابقة للفحمي، ويرمز اللون الأبيض إلى الأراضي التالية للفحمي.

وتعتبر الزمرة الوسطى (Middle Coal measures) هي الأكثر أهمية من وجهة النظر إلى المكامن الفحمية. وهناك نوع آخر من صفيحيات الخياشيم البحيرية يحل مكان ألـ **Carbonicola** : ذاك هو جنس السبحيات **Naiadites** .

ويكون القسم العلوي (Upper Coal Measures) أقل غنى بالفحم، في حين تكون الطبقات الحمراء ذات **Spirobis** (ديدان) متناوبة فيها وان القمة تتميز بوجود ثنائية المصراعين البحيرية **Anthrecomia**.

ب ـ كاربونيفير الحوض الفرنسي ـ البلجيكي

لقد سبق الكلام آنفاً عن حوضي دينان ونامور، وهما حوضان من الكاربونيفير، مندمجان في الديفوني، ومنفصلان عن بعضهما بكسر كبير هو صدع كوندروز (شكل ٢٤٨ و ٢٤٠).

وقد كان الدينانتي موضوعاً لدراسات حديثة قام بها كل من **Délépine** و **Carpentier**، ويكون منتشراً على نطاق واسع في مقعر دينان وغنياً بقصيرات الأرجل (**Spirifer** في التورنيزي و **Productus** في الفيزيئي Viséen) وتبدأ الزمرة بصخر كلس Etroeugt مع Clyménies (ستروني Strunien)[1]، ثم تعقبها كالكشيست وصخور كلسية ذات قرصانيات entroques (غرانيت صغير) وصخور كلسية سوداء تنهي التورنيزي. ويبدأ الفيزيئي برخام دينان الأسود ذي **Productus Semireticulatus** ويستمر بصخور كلسية بيوضية، وفتانيت، وكلس Visé الأسود ذي **Productus giganteus** وبريش. وتظهر في القسم الذي يتاخم الآردين من حوض دينان، وذلك عند الحدّ بين التورنيزي والفيزيئي، تظهر سحنة رصيفية خاصة ذات حزازيات حيوانية Bryozoaires (Fenestelles) معروفة تحت اسم طابق الوولسورتي Waulsortien.

وعلى العكس فإن الوستفالي، الذي لا يشكل أكثر من شرطان سنكلينالية رقيقة في مقعر دينان الكبير، يملئ مجمل مقعر نامور وحيث تظهر كل المستغلات التعدينية تقريباً.

---

(١) اسم مقتبس من مكان معين في إنكلترا حيث تم إعداد التصنيف على أساس آمونيات الدينانتي (تورنيزي. كراكوني Cracoien وبولاندي) والوستفالي (لانكاسترى، ستافوردي).

هذا ويتشكل الناموري في قاعدته من آمبيليت شوكير Chokier ومن حث الآردين في القمة (مثيل Millstone Grit) .

أما الوستفالي الأعلى أو الفحمي المنتج فهو معقّد حثي شيستي بحيري حاوٍ على العديد من طبقات الفحم، وكذلك بعض التناوبات البحرية ولا سيما في قاعدته . وقد سمحت الدراسة التفصيلية للنبيت والوحيش البحيري والبحري بإعداد عدد من التقسيمات الفرعية في هذا الوستفالي والتي لا نستطيع الإلحاح عليها هنا [1] .

أضف إلى ذلك أن تكتونيك هذه المنطقة الهيرسينية يكون معقّداً، كما سبق ورأينا، بفعل ظاهرات الجرف التي عمدت إلى طرد حوض دينان لفوق حوض نامور وذلك على طول حادث كوندروز (صدع كبير. صدع ميدي، الصدع الإيفيلي) (شكل ١٩٣ و ٢٤٩).

وفضلاً عن ذلك فإن هذين الحوضين يكونا، بالذات، مقطوعين بطيات صدعية ثانوية تعمل على تجزئته إلى حراشف تكون بدورها متراكبة من الجنوب نحو الشمال. وقد قاد هذا التفسير الأخير الذي يعود إلى ش. بارّوا إلى منظورات أخفض عن تقدير الاحتياطيات العميقة من الفحم، التي تبدو عظيمة جداً في فرضية الحوض الوحيد لدى مارسيل برتران .

ويختفي الحوض الفرنسي ــ البلجيكي، باتجاه الشمال، تحت الطبقات العقيمة morts-terrains وأعمال السبر وحدها هي التي سمحت بالعثور على الطبقات الفحمية في كامبين Campine .

وفي اتجاه الشرق، وبعد انقطاع سهل الراين، نعثر على الكاربونيفير في ألمانيا

---

(١) لقد تم تعداد ٤٠٠ تربة نباتية فيه مع سقوف على سماكة قدرها ٢٠٠٠م من الطبقات؛ أي أن كل نبضة في الانكباس لم تكن تتجاوز ٥م.

(وستفاليا). وحوض الرور الكبير هذا أو الوستفالي، الشديد السماكة والغني بالفحم، هو الذي أعطى نموذج هذا الطابق. هذا ويجب علينا التنويه، في كل هذه المناطق، بغياب الستيفاني، مما يكمل التماثلات مع الكاربونيفيري الانكليزي.

جـ ـــ حوض السار

ونكون هنا في معرض محدب يعمل على كشف الطبقات الفحمية إلى الجنوب من كتلة هونسروك (P.Pruvost). وتكون قاعدة الفحمي غير معروفة فيه، كذلك شأن الفحمي الأسفل وتقابل طبقات ساربروك الأكثر عمقاً الوستفالي الأعلى؛ أي مع الطبقات المنتجة في الحوض الفرنسي ـــ البلجيكي. وأخيراً لا نعثر هنا على طبقات بحرية متناوبة ويكون الفحمي هنا قارياً بمجموعه (حوض بحيري). وتحتوي هذه الطبقات، في قاعدتها، والمؤلفة من شيست ومن حث ورصيص سميكة جداً، تحتوي على العديد من طبقات الفحم الدهني. هذا وتشتمل طبقات ساربروك الوسطى، وهي بدورها سميكة جداً، تشتمل على فحم ملتهب، وتكون قمة الطبقة الغنية متميزة برصيص هولز. وفوق ذلك تأتي طبقات ساربروك العليا، الفقيرة، ثم تنتهي الزمرة بطبقات Ottweiler التي تقابل الستيفاني وتكاد تكون عقيمة. ويغوص هذا الحوض باتجاه الجنوب الغربي في العمق، تحت الترياس، وبذلك يرسم محدباً واسعاً، هو محدب اللورين (طية يتيمة).

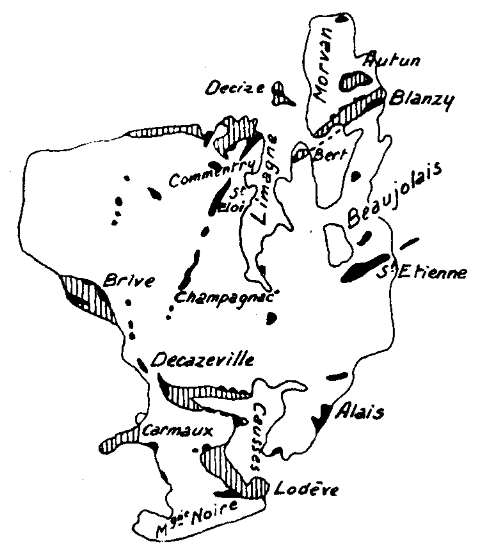
د ـــ كاربونيفير بريتانيا

وتتمثل قاعدة الكاربونيفير هنا بتكوين كولم Culm (سحنة فليش) وهو المكافئ الجانبي للدينانتي، والذي يشتمل على نباتات أو مستحاثات بحرية. ويكون أحياناً مغرنتاً granitisé ومغطى بصورة متنافرة بالفحمي المؤلف من طابقيه القاريين؛ أي الوستفالي والستيفاني، كما هو في إقليم السار، ولكنه قليل الغنى بالفحم. ومع هذا

يجدر بنا أن نذكر أحواضاً فحمية صغرى مثل حوض Littry (كالفادوس) ، وكيمبير ، وسان بيير لاكور ، التي تكون ستيفانية ، وحوض آنسينيس ، وهو أهمها ، والذي يضم زمرة كاملة بدءاً من كولم حتى الستيفاني (شكل ٢٤٢) .

هـ ـ الفوج

وهنا أيضاً يكون الدينانتي ، بسحنة كولم Culm ، ملتوياً مع الصخور السابقة (ديفوني) ويكون مستوراً بالوستفالي (Saint-Hipplyte) والستيفاني (فالدوفيلليه ورونشان) الافقيان (التنافر الهيرسيني) وغير الاستحاليين . ويكون من العسير تحديد تخم الدينانتي بسبب ظاهرات التحول وندرة المستحاثات ، ويكون على العموم بحرياً ومؤلفاً من حث فتاتي ناري ومن فتانيت Fhtanites ذات شعاعيات (كتلة غران باللون ووادي بروس (ج . دولاّباران) .



شكل ٢٥١ ــ انكشافات الفحمي والبرمي في الماسيف سنترال .

يشير اللون الأبيض لأراضي الحقب الأول والمتبلورة التورقية ، واللون الأسود إلى الفحمي ، والخطوط الدقيقة إلى البرمي (م . جينيو) .

و ــ الماسيف سنترال الفرنسية

ونعثر فيه على نوع من الكاربونيفير شديد الشبه بكاربونيفير جبال الفوج ، إذ يكون الدينانتي ملتوياً بسحنة كولم مع منتجات بركانية ، والذي يشتمل على

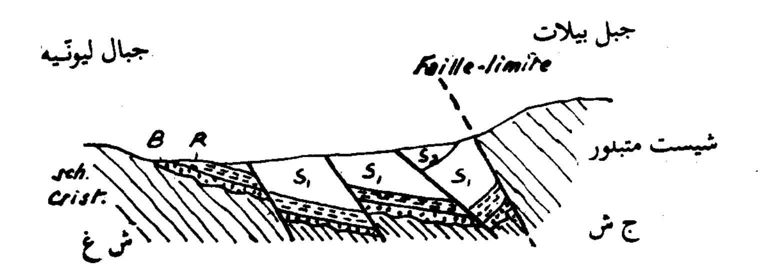
مستحاثات تسمح بتشخيص التورنيزي والفيزيئي . ويكون طور الحركات الهيرسينية التالية للدينانتي مرئياً هنا بشكل واضح جداً تدل عليه حركات جرف هامة . ويغطي الفحمي Houiller هذا الدينانتي بشكل متنافر . وتتألف من صخور شيست وحث ورصيص مع طبقات فحم تضم مستحاثات قارية حصراً (نباتات ، قشريات ، حشرات ، أسماك) ممثلة للستيفاني (شكل ٢٥١) .

ويكون هذا الستيفاني بدوره ملتوياً ومنحصراً في أحواض منعزلة ، محدودة بطيات صدعية ، بحيث نجد أنفسنا مضطرين للتسليم بأن الحركات الأوروجينية (المولّدة للجبال) قد امتدت بعد توضع هذه الطبقة (التواءات يتيمة ، من عمر برمي بل وحتى أحدث منه) .

وهكذا يكون الستيفاني ، في حوض آليه Alais ، مصاباً بحوادث جرف عنيفة يحتمل أن تأريخها يعود للحقب الثالث .

حوض سانتيتيان : وهو من أكثر أحواض الماسيف سنترال أهمية ، والذي يبدو على شكل مقعر مسحوق ومصدوع حسب اتجاه فاريسكي في التكوينات المتبلورة لجبل بيلات وليونّيه (شكل ٢٥٢) . ويبدأ الستيفاني هنا ببريش أساسي خشن جداً وبطبقات تحتوي ، عند موقع Rive-de-gier ، على نباتات مميزة (Sigillaires مخّدد و **P.arborescens** و **Pecopteris Lamurensis**) . ثم تأتي طبقات عقيمة ذات نباتات متسليسة ، تمتطيها طبقات سانتيتيان مع Cordaïtes في القاعدة و Filicacées من فوق . وتضم هذه الطبقات العديد من سافات الفحم . وأخيراً تنتهي هذه الزمرة بطابق Calamodendrées ، الذي يكون بدوره حاوياً على الفحم .

ويتلاشى الحوض بسرعة كبيرة جداً في اتجاه الماسيف سنترال بفعل رفع محوري مفرط ولكنه يتمدد من جانب وادي الرون ، وذلك تحت الثلاثي واللحقيات الحديثة ، حيث عثرت عمليات السبر عليه ، على عمق كبير ، وذلك بين مدينة ليون وأواخر أعضاد جبال الجورا .



شكل ٢٥٢ ــ مقطع تقريبي لحوض سانتيتيان الفحمي
(B، بريش الأساس. R، طابق Rive-de-Gier، S1: زمرة سانتيتيان السفلى، S2 زمرة سانتيتيان العليا أو آفيز)
(م. جينيو).

ز ــ الكاربونيفير في بعض المناطق الفرنسية الأخرى

أ ــ البيرينيه: ويعرض الكاربونيفير فيه سحنة كولم خلال كل الدينانتي وحتى الناموري. ونذكر من بين الصخور المميزة صخور الشيست السوداء ذات الشعاعيات والعقيدات الفوسفاتية لموقع Cierp (الغارون الأعلى). ونصادف فوق هذا الدينانتي البحري، بعض الأحواض الفحمية الصغيرة، المبعثرة، مع طبقتي الوستفالي والستيفاني.

ب ــ الألب الفرنسية: يغطي الفحمي Houiller (الستيفاني) في النطاق الخارجي أو نطاق الكتل الهيرسينية، وذلك بشكل متنافر، الصخور المتبلورة (حركات هيرسينية)، مثلما يكون هو ذاته مستوراً بشكل متنافر بالغطاء الترياسي ــ اللياسي الملتوي (حركات ألبية). وتقدم منطقة مور Mure، إلى الجنوب من غرينوبل، أغنى حوض في هذا النطاق التي يكون الفحم متحولاً دوماً، وذلك بنتيجة حركات تكتونية عنيفة، إلى فحم آنتراسيت. ونعثر على الفحمي في كتلة بيللدون Belledonne، وإلى الشمال من ذلك، في كتلة إيغويروج Aiguilles-Rouges وحتى في إقليم فاليه Valais.

أما في النطاق الداخلي، أو منطقة بريانسونيه Briançonnais، فيشكل الفحمي

انكشافات هامة جداً قد تتابع ابتداءً من جنوب بريانسون Briançon حتى في اتجاه الأعالي في الشمال (مورين وتارنتيز). ذاك هو الشريط الكبير أو النطاق الفحمي البريانسوني، وهو نطاق معقّد، شديد الالتواء، يسمح اكتشاف النباتات فيه بالتأكيد على وجود طبقات الستيفاني ـــ الوستفالي ـــ الناموري. غير أن معرفة التكتونيك التفصيلي يبدو شبه مستحيل في هذه المركبات الحثية ـــ الشيستية والرصيصية. ولا تكون قاعدة الفحمي مرئية ويبدو أن قسمه العلوي في حالة توافق مع صخور الحث البرمو ـــ ترياسي. وتكون طبقات الآنتراسيت فيه دائماً مسحوقة وتعرض وضعاً تكتونياً يدعى وضعاً على شكل سبحات. وفضلاً عن ذلك تتداخل في هذا الفحمي مسكوبات من الميكروديوريت، ولا سيما في منطقة بريانسون.

وأخيراً، وفي منطقة ثالثة (نطاق فانواز Vanoise ونطاق بييمون Piémont أو نطاق الشيست اللمّاع) فإن من المحتمل أن يكون الفحم متحولاً ومندمجاً في المركّبات الغنايسية الأقدم مؤلّفاً نوى طيات من الشيست اللمّاع. وهذا دائماً ما نجده في القسم المحوري من المقعر الأرضي (جيوسنكلينال) الألبي، ذاك القسم الذي تأثر بالاستحالة أكثر من سواه (شكل ١٩٧).

حـ ـــ روسيا

يكون الكاربونيفير في مجال السطيحة الروسية بحرياً كلياً وأفقياً. ويكاد يكون مؤلفاً حصراً من صخور كلسية غنية بالمستحاثات المتنوعة، ففي القاعدة نجد صخور كلس ضواحي موسكو، التي تنتقل باستمرارية إلى الديفوني وتضم **Productus**، ولكن لا نجد بعض المنخربات الكبيرة (مغزليات Fusulinidés)؛ فتكون الأنواع المميزة هنا هي أنواع الدينانتي.

ثم تأتي صخور الكلس الحيوانية المنشأ Zoogènes، البيضاء والحوارية، ذات **Spirifer (Spirifer mosquensis)** المجبولة بالمغزليات، والتي تمثل طابق الموسكوفي. وأخيراً يبدأ الكاربونيفير الأعلى أو الأورالي بصخور كلسية ذات **Spirifer Supramosquensis** (طابق Gjel) وينتهي بصخور الكلس الدولوميتية ذات

Schwagerina princeps . ونعثر على هذه الصخور الكلسية في جبال الأورال ، حيث تتخذ سحنة بيلاجية Pélagique ذات معجونة دقيقة ، فتكثر فيه مستحاثات شواجيرين Schwagérines فيه وكذلك أشباه الأمونيات .

ويظهر في الدونتز كاربونيفيري من نمط هيرسيني ، كامل ، شديد الثخانة ، وذو سحنة فليش . ويكون متنافراً فوق الصخور المتبلورة ويبدأ بدينانتي كلاسيكي ، ثم يستمر بمعقد كبير من طبقات حثية ــ شيستية ذات نباتات ، ومن طبقات فحم وتناوبات من سافات كلسية ذات وحيش بحري . ويسمح حوض الدونتز هذا إذن بمحاولة تصور موازاة واضحة بما فيه الكفاية مع فحمي أوروبا الغربية ، وهذا التوازي هو الذي قدمناه في لائحة صفحة ٦٦٠ .

ط ــ كاربونيفير المناطق الميزوجية (الرومية = المتوسطية)

وهو الذي توضّع خلال كل هذا العصر وحتى خلال البرمي في البحر الأبيض المتوسط السالف أو الميزوجيه ، والذي أخذت ملامحه تتوضّح حول خط الاستواء ابتداءً من الزمن الآنتراكوليتي Anthracolithique(*) .

وقد كان هذا البحر محصوراً بين قارتي شمال الأطلنطي وقارة شمال آسيا (آنغاريد) وقارة غوندوانا الفسيحة ، التي كانت تمتد في الجنوب . ويعرض الكاربونيفير نفسه فيه على شكل طبقات بحرية وتكون السحنة ، التي تلي الدينانتي مباشرة ، متصفة على الخصوص بالمغزليات . ونصادف هذا النموذج في الهند الصينية وفي أفغانستان ، وآسيا الصغرى ، واليونان ، ودالماسيا ، والألب الشرقية وصقلية .

ويكون هذا النموذج في الصين من نمط مختلط لأنه تتداخل ، في مجموعات ذات وحيش بحري ، طبقات ذات نبيتات فحمية وفحم حجري . ومن الصحيح القول أننا هنا في معرض الكلام عن حافة القارة الكبرى آنغاريد .

وفي البحر الأبيض المتوسط الغربي ولا سيما في اسبانيا ، يكون كاربونيفير

(*) أي الكاربونيفير والبرمي .

آستوريا بحرياً، وحتى فوق الدينانتي ولكن القسم العلوي وحده هو الذي يحوي على نباتات فحمية.

ولكن يعود الكاربونيفير في المائدة (الميزيتا)، ليصبح من نمط عادي (دينانتي بحري مستور بفحمي قاري).

ونعثر في افريقيا الشمالية، وعلى الخصوص في المغرب، على الكاربونيفير الذي يذكرنا كثيراً بمثيله في شبه الجزيرة الإيبيرية، لأن المؤثرات البحرية (ولكن دون مغزليات) تصعد فيه لما فوق الدينانتي؛ أي في الوستفالي الأعلى. وفي أغلب الأحيان لا يبدأ الدينانتي إلّا بالفيزيثي الطاغي، فيكون الوستفالي مجهولاً (المرحلة الرئيسة للالتواءات الهيرسينية)، وعلى الخصوص في الأطلس الكبير، حيث يطغى الستيفاني القاري ذو النباتات والطبقات الحمراء فوق الطبقات السابقة الملتوية (أ. روش).

ويتكشف الكاربونيفير، إلى الجنوب من ذلك، في الصحراء الكبرى الشمالية الغربية، ويكون مؤلفاً أساساً من طبقات بحرية دينانتية (تندوف، وادي الساورة، بشار... إلخ). ولكن الوستفالي ذا النباتات وطبقات الفحم يكون معروفاً في جنوب وجدة (جبل جرادة) في شرقي المغرب.

ي ــ كاربونيفير أمريكا الشمالية

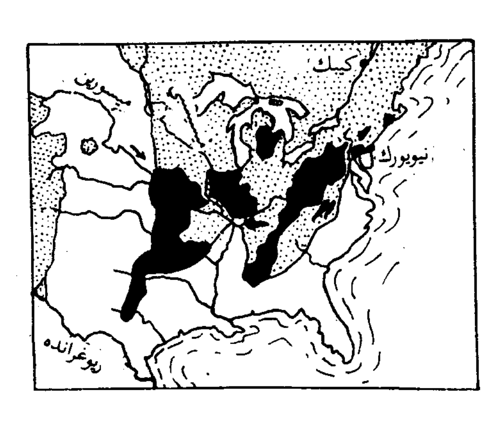
ويكون منتشراً فيها بشكل استثنائي وغنياً بالمستحاثات. ونجد فيها، وذلك في جنوب شرق كندا، في منطقة إيقوسيا الجديدة، طبقات من صخر رملي (حث) ولاغونية مشابهة لمثيلاتها في إيقوسيا، وتكون الطبقات المذكورة مغطاة بالفحمي (وستفالي من الحث وعقيم وستيفاني مؤلف من صخور حُثية حمراء (شكل ٢٥٣).

أما في منطقة جبال الآبالاش[1] وجبال آلليغاني فيكون الدينانتي (ميسيسبياني) ملتوياً بشدة ويتمثل بمعقدات حطامية شبه محرومة من الصخور

---

(١) في هذه المنطقة، حيث يكون الترسب مستمراً من السيلوري إلى الفحمي والرمي ــ Anthra colithique، تمّ تعريف مفهوم «جيوسنكلينال = المقعر الأرضي» الشهير على يد Hall و Dana.

الكلسية (نمط كولم أو مقعر أرضي)، ويكون مغطى بالفحمي المنتج بصورة متنافرة، وهو شيست وصخور رملية ذات نبيت وستفالي (بنسلفاني) ثم ستيفاني (ميسورياني) ذات وشائج أوروبية، تتداخل فيها بعض طبقات بحرية ذات وحيشات موسكوفية وأورالية وسافات من الفحم.



شكل ٢٥٣ ـ الأحواض الفحمية في وسط الولايات المتحدة. (الأسود فحمي، منقط: أراضي قديمة، الأبيض: أراضي أحدث من الفحمي). من اليسار إلى اليمين، أحواض داخلية غربية، أحواض الشرق الداخلية، أحواض ميشيغان، حوض الآبالاش وبنسلفانيا، حوض ماساشوستس في شمال نيويورك.

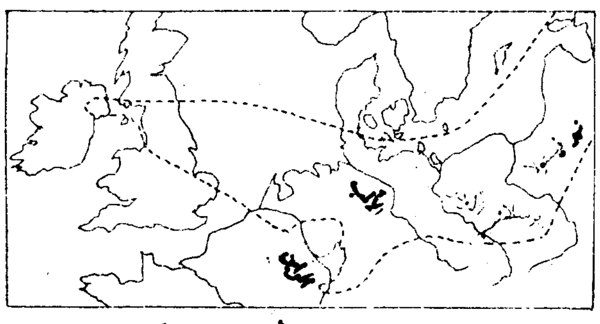
وتؤلف الصخور الحثية في هذه الزمرة الصخور الخازنة للنفط والغاز في حوض الآبالاش.

وأخيراً فإن الكاربونيفير لا يكون في أحواض ولايات الوسط (ميشيغان، سان لويس، غرب التكساس) ملتوياً ويستأنف نمطه التقليدي في الرقع القارية، ويشكل الدينانتي ـ الناموري فيها أول مجموع أسفل (ميسيسبياني) بحري وخال من الفحم، تمتطيها طبقات الوستفالي الأعلى ـ والستيفاني (بنسلفاني)، التي تشتمل على طبقات الفحم. ونجد الطبقات المذكورة في سحن الوستفالي القارية، لأن الستيفاني يتميز، بالأحرى، بالعديد من تناوبات الصخر الكلسي البحري، ذي المغزليات و Productidés (ميسورياني).

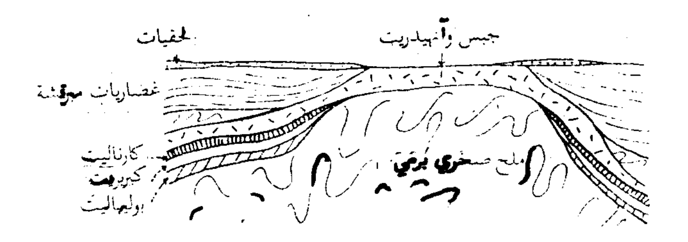
٣ ـ توزع البرمي جغرافياً

أ ـ ألمانيا: عندما يكون البرمي كاملاً فهو يتألف من عنصرين (ومن ذلك

جاء إسم دياس Dyas الذي أطلق في الماضي على البرمي)، ففي القاعدة يتألف من صخور رملية حمراء (حث Rothliegende) ومن شيست وكلس دولوميتي بحري (Zechstein) في القمة (شكل ٢٥٤). وتطابق قاعدة Rothliegende طابق الأوتوني، وهي في العموم عبارة عن شيست معقد الألوان في استمرارية مع الفحمي، ولكنه يشتمل على نبيت مميز (Callipteris و Walchia) (سار، ساكس، تورينج). ولما كانت تغلب على القسم العلوي من تكوينات Rothliegende الصخور الرملية، الحمراء، فمن الممكن موازاته مع الساكسوني، ويكون على العموم متنافراً فوق الأوتوني (آخر نبضات السلسلة الهيرسينية). وتتنضد توضعات Zechstein (تورينجي) فوق التشكلات السابقة، وهي شواهد عن الصحاري البرمية، في كل ألمانيا الشمالية. وتبدأ برصيص أساسي وبشيست بيتوميني ونحاسي ذو أسماك (Palaeoniscus) ونباتات (Voltzia). ثم تأتي طبقة Zochstein البحتة المؤلفة من ساف سميك من كلس دولوميتي غني جداً بالمستحاثات، ولكن ذا نبيت مفتقر في بحر داخلي مفرط الملوحة (Fenestelles، Productus, Stropholosia, Schicodus ... إلخ). ويكون هذا الصخر الكلسي مغطى بتكوين ملحي (آنهيدريت، ملح صخري، أملاح بوتاس ومانيزيا) الكثير الانتشار في كل ألمانيا والذي يشير إلى تجفف محلّي للبحر البرمي (مثال: مكمن ستاسفورت، شكل ٢٥٥). وفي هذه المناطق، التي تكون فيها ثخانة التوضّعات الملحية شاذة أحياناً وكذلك وضعها الشديد الفوضوية قد أدتا لإطلاق فرضية تكتونيك ملحي خاص وصعود الملح المحتمل على شكل قباب. ويتم تفسير هذه التوضعات حالياً بنظرية **الشطوط** **Chotts**.



شكل ٢٥٤ ـــ بحر زشستين في أوروبا (هـ. هارآسوويتز).



شكل ٢٥٥ ــ **مقطع تقريبي مبسط لمكمن ستاسفورت** (ساكس) (فريشت).

ب ــ **انكلترا**: ويكون الحد الأسفل للبرمي فيها دائماً واضحاً، مادام الستيفاني والأوتوني غير موجودين فيها. بيد أن الحد الأعلى يكون دائماً مشوشاً والذي يشكل هنا «الصخور الحثية الجديدة» حيث يندمج مع الترياس. إذن يعرض السكسوني نفسه على شكل حث ورصيصات **conglomérats** حمراء من أصل شبه صحراوي، ويكون مغطى بتورينجي يشتمل على ثلاث طبقات تكون من الأسفل إلى الأعلى: شيست ذو أسماك، صخور كلسية مانيزية، مارنيات جبسية ملحية، يتحول أحياناً إلى الترياس.

ج ــ **فرنسا**: وتم التعرف فيها على تشكيلات من الحجر الرملي (الحث) الأحمر في شبه جزيرة كوتنتان، وفي جبال الفوج (مع تناوبات من مسكوبات ريوليتية)، وفي جبال الألب (صخور حثية محشوة بحبات البريانسوني الحمراء، الملقب بـ **Verrucano**)[1]، وفي البروفانس (قبة بارّو، صخور بورفير جبال إستريل **Estérel** الحمراء)، وفي البيرينيه. أما في الماسيف سنترال فيكون البرمي منتشراً على الخصوص في منطقة أوتون، التي منحت اسمها لطابق الأوتوني: وهي عبارة عن صخور شيست تنتقل إلى الستيفاني مع سافات **بوغهيد bogheads** وشيست بيتومي أحمر أحياناً ذي **Walchia**، **Callipteris**، **Palaeoniscus** و **Stégocéphales (Protriton)**، المغطاة بالسكسوني الحثي وطغياني.

---

(١) لقد قدمت «الصخور الرملية في **Allevarad**» في المناطق الألبية الخارجية منذ وقت قريب مستحاثات **(Peseudovoltzia, Calamites, Cisti)** والتي يجب إدراجها في البرمي الأسفل (سكسوني) (P.Corsim, P.Gidon و A.C.TOBI).

د ــ روسيا: تلك هي الأرض التقليدية للبرمي البحري، ويعرض لنا تاريخه الانكماش التدريجي وتلاشي الذراع البحري الروسي، الذي كان يفصل الآنغاريد عن قارة شمالي الأطلنطي، بفعل الالتواءات الختامية للهيرسيني.

هذا ويكون البرمي الأسفل أو الآرتنسكي **Artinskien** شديد الانتشار إلى الجنوب من مدينة برم **Perm**، حيث يظهر متنافراً فوق الأورالي. ويتألف من حثّيات ومن غضاريات آرتينسك **Artinck** الغني جداً بوحيش من قصيرات الأرجل ورأسيات الأرجل. أما البرمي الأوسط أو غونغوري **Koungourien** التقليدي في جنوب شرق برم؛ فيتألف، على الخصوص، من دولوميات ومن صخور كلسية ذات ثنائيات المصراعين ومعديات الأرجل، ومن طبقات نادرة ذات نباتات من «نبيت غوندوانا». وقد يتبدّى البرمي الأعلى أو القازاني **Kazanien** على شكل طبقات حمراء حاوية على النحاس أو الشيست الحثي مع قصيرات الأرجل نادرة، المنتشرة جيداً في جوار قازان.

هـ ــ المجال الميزوجيني: ويؤلف البرمي استمراراً للكاربونيفير البحري ويتميز بوحيشات **Faunes** ذات مغزليات وأشباه الأمونيات (تيمور، الهند الصينية، أفغانستان، آسيا الصغرى، صقلية، الالب الدينارية... إلخ). هذا وتسمح المنطقة التقليدية **لجبل الملح Salt Range** (البنجاب)، الواقعة على الهامش الجنوبي لسلسلة هيمالايا بدراسة زمرة بديعة بحرية من البرمي مع ثغرات وتنافرات تبيّن بأننا نكون على حافة رقعة قارية.

أما في افريقيا الشمالية، فإن الانكشاف الوحيد المعروف من البرمي البحري ذي قصيرات الأرجل والمغزليات فيقع في تونس (جبل طباقة إلى الجنوب من قابس) (م. سولينياك).

أما في جبال الألب الشرقية (ديناريد، الألب الكارنيكية) فإن طبقات من الصخر الكلسي ذي مغزليات ورأسيات الأرجل تمثل الآرتينسكي، تتلو مباشرة الكاربونيفيري البحري (الأورالي). وترقد فوق الطبقات الكلسية، مع تنافر خفيف، صخور رملية وشيستية حمراء سكسونية ذات **Walchia** (حث غرودن **Gröden**،

الذي يشكل اتساعاً كبيراً في جبال الألب الشرقية). وتتلو هذه السحنات القارية من فوقها، في جبال الألب الكارنيكية على الخصوص، معقدات من شيست لاغونية، وصخور رملية وكلسية ذات وحيش يذكّرنا بوحيش زشستين **Zechstein** والتي تمثل التورينجي. وهنا نجد أنفسنا أيضاً فوق حافة بحر ميزوجيه الغابر.

و ــ **أمريكا الشمالية**: ونجد فيها من جديد البرمي الأطلنطي الشبيه جداً بمثيله في أوروبا الغربية (سحن «صخور الحث الحمراء الجديدة» ذات **Walchia** و **Callipteris**)، في حين يكون البرمي في سهول الغرب حاوياً، وذلك من فوق الطبقات الحمراء والملحية، على تناوبات بحرية ذات وحيش من أشباه الأمونيات الآرتينسكية.

ويكون البرمي معروفاً في الجبال الصخرية وفي السلاسل الباسفيكية على شكل طبقات بحرية في حالة استمرارية مع طبقات الكاربونيفير والترياس.

٤ ــ قارة غوندوانا

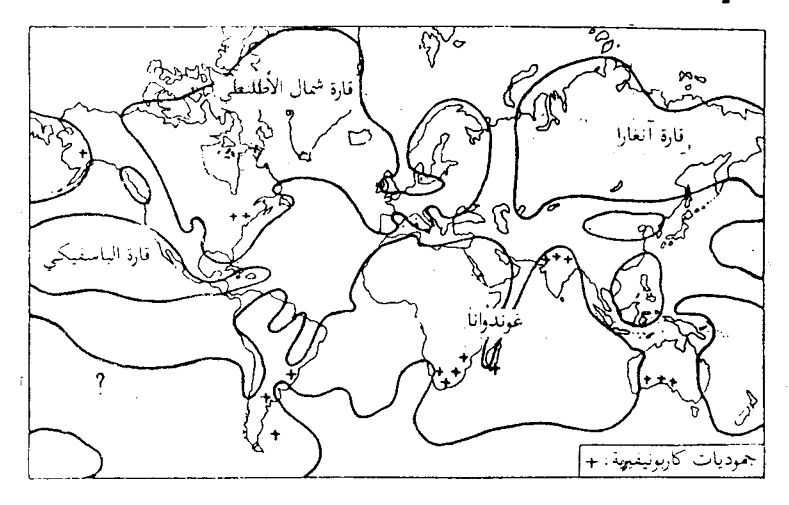
في حوالي نهاية الكاربونيفير، ولا سيما خلال البرمي، أخذت تتفرّد (شكل ٢٥٦) وتتميز قارة فسيحة جنوبية تضم شبه جزيرة الهند، وأستراليا، وافريقيا الجنوبية ومدغسكر وقسم من امريكا الجنوبية والبرازيل[1] وذلك بمواجهة قارة شمالية (شمال الأطلنطي والشمال الآسيوي) وذلك على الجانب الآخر من بحر الميزوجيه. وقد كانت كل هذه المناطق، التي كانت صفاتها الجغرافية القديمة متماثلة حينذاك، مجتمعة ويطلق على هذا المجموع الفسيح اسم **قارة غوندوانا**. فنلاحظ فوق الصخور القديمة

(١) وهنا تجدر الملاحظة إلى أن ممثلات النبيت ذو **Glossopteris** وكذلك الوحيش ذو الزواحف الغوندوانية قد تم اكتشافها في شمال روسيا وحتى في روسيا الأوروبية (نبيت يدعى نبيت آنغارا، والذي تتمثل بشكل طيب في كوتسنتزك في سيبيريا والذي يتمثل بـ **Pursongia**، **Gangamopteris** و **Callipteris**.

ومن ناحية أخرى فإن أنواع النبيت الستيفانية قد تم كشفها في نصف الكرة الجنوبي (المنطقة الهندية الماليزية) وأصبحنا نعرف الآن أن النبيت الوستفالي الستيفاني هو أقدم من فلورا غوندوانا، مما يشكل ضربة جديدة لتفرد هذه القارة.

المنتصبة، بالواقع، ظهور زمر سميكة جداً من طبقات قارية غير ملتوية (ذاك هو تكوين غوندوانا في الهند، وتكوين كارو Karoo في افريقيا الجنوبية)، والتي تشتمل على سرخسيات من نمط خاص (Gangamopteris, Glossopteris) غير معروفة في النبيتات الكلاسيكية الأوروبية (نبيت ذو Glossopteris)[1].

ففي البرازيل تكون عناصر النبيت ذات Glossopteris في التكوينات الغوندوانية مختلطة مع عناصر من نبيت نصف الكرة الشمالي، مما سمح بالقيام بمماثلات جزيلة الفائدة. ويكون أساس هذه المعقدات كاربونيفيرياً بالطبع، ولكن القسم الأعظم يعود للعصر البرمي.



شكل ٢٥٦ ــ الجغرافيا القديمة الأورالية ــ البرمية. (ر. فورون).

ويبدأ تكوين غوندوانا أحياناً برصيصات جمودية ذات حصى محزّزة (طبقة تلشير في الهند، رصيص دويكا المسماة «Tillite» في افريقيا)، وتحتوي فوق ذلك صخوراً حثية وشيست ذات طبقات من الفحم، ولا سيما باتجاه القاعدة. ففوق قارة غوندوانا هذه، التي كان مناخها بلا ريب أكثر رطوبة من المناخ الذي كان ينوء بوطأته في العصر ذاته في الشمال (نبيت ذو Walchia و Callepteris) حيث كان يعيش العديد من الزواحف الغريبة شبه اللبونة (Labidosaurus, Pareiasaurus ... إلخ)،

(١) ومع ذلك اكتشف دلّلوني نبيت غوندوانا في جبال البيرينيه.

تستخدم بقاياها، ولا سيما في افريقيا، لترتيب ستراتيغرافية تكوين كارو. وسيستمر هذا النظام خلال الترياس (الهند، افريقيا، أستراليا) ولكنه أصبح أكثر جفافاً، وصحراوياً أكثر.

ويمكن تلخيص تاريخ كل من هذه المناطق المشغولة بتكوينات غوندوانا حسب الطريقة التالية:

في حوالي نهاية الكاربونيفير حصل توسع شديد للجموديات، التي راحت تشكل قبعات جمودية حقيقية. وفي مطلع البرمي كانت الجموديات متلاشية وتغطت الأرض بالنباتات (نبيت ذو **Glossopteris**) بينما راحت تتكاثر الزواحف شبه اللبونة. وظل المناخ في البداية رطباً وواءم تشكل طبقات الفحم، ومن ثم، وابتداءً من البرمي الأوسط، أو على الأكثر في الترياس، استقر مناخ صحراوي.

وقد سبق أن كتب م. جينيو «يتطلب هذا التاريخ المشترك تفسيراً مشتركاً» وهكذا كانت ولادة فرضية قارة غوندوانا. ولكن لتفسير وجود جموديات في كل هذه المناطق يجب أن نقبل أن شبه الجزيرة الهندية وافريقيا الجنوبية والبرازيل واستراليا كانت تشكل، حوالي نهاية الكاربونيفير، كتلة وحيدة واقعة بجوار القطب الجنوبي في ذلك العصر. ويجد الموقع لهذه الأقطار تفسيره في نظرية فيجنر، التي سبق لنا عرضها، واستناداً عليها، فإنه بنتيجة تشقق هذه الكتلة وبفضل انسياح هذه القطع، التي تشكلت على هذه الصورة، نحو الشمال اتخذت تدريجياً أوضاعها الحالية. إذن يجب علينا حالياً أن نوحـد بالخيال كل هذه المناطق الغوندوانية لإعادة صياغة الجغرافية القديمة البرمو ــ كاربونيفيرية.

وقد ظلت الأوضاع الغوندوانية سائدة خلال الترياس في الكثير من المناطق. ومع ذلك نلاحظ في مدغسكر أنه تظهر في قمة الصخور الرملية والشيستية البرمية رسوبات بحرية مع العديد من رأسيات الأرجل الترياسية: إذن لدينا هنا برهان على اتساع طغيان بحر الميزوجيه باتجاه الجنوب والذي راح يغطي قارة غوندوانا قبل تجزؤها بقليل ذلك التجزؤ الذي لم يتأخر ذاته عن أن يحصل في العصر الثاني.

الفصل السادس

الصخور الترياسية

١ ـ صفات عامة

لقد صدرت عبارة ترياس من أن هذا التشكل تراءى في المناطق التي تمت دراسته فيها لأول مرة (فرانكونيا)، وأنه يتشكل أساساً من ثلاثة عناصر: في الأساس من حث مبرقش شبه صحراوي أو بونتساندستين (Buntsadsandstein)، وفي الوسط من صخور كلسية قوقعية بحرية (موشلكالك Muschelkalk)، وفي القمة مارنيات متقزِّحة لاغونية (كوبر Keuper). ذاك هو الترياس ذو **السحنة الجرمانية** أو الفوجية والتي راحت تسود في كل المناطق التي سبق أن هيمنت عليها سحنة صخور الحث الحمراء الجديدة البرمية. أما في المناطق الأخرى؛ أي في جبال الألب الشرقية، والابنين، والبلقان، فإن سائر الترياس يكون بحرياً صريحاً، تلك هي **السحنة الألبية** أو الرومية الجيوسنكلينالية.

وتكون المقابلة بين أقسام الترياس الجرماني وطوابق الترياس البحري أو الألبي هي التالية:

سحنة جرمانية	سحنة ألبية
(ترياس علوي) كوبر	نوري
	كارني
	لاديني
(ترياس أوسط) موشلكالك........................	فيرغلوري (آنيسي)
(ترياس أسفل) حث مبرقش	ويرفيني (سيتي Scythien)

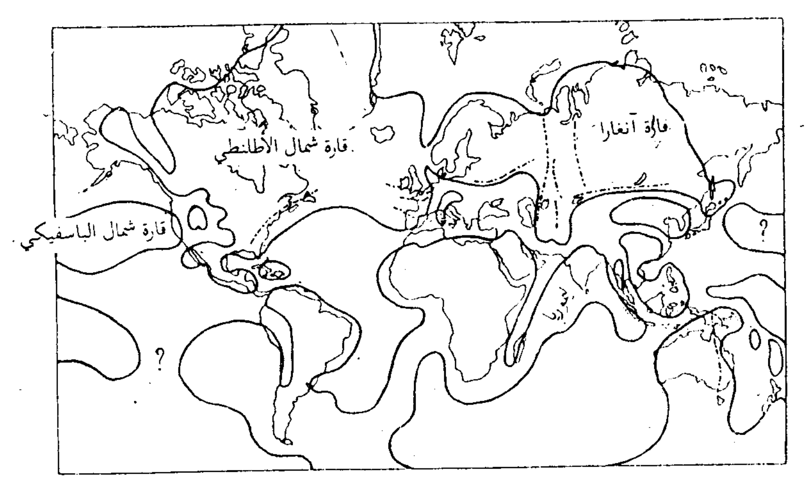
وتكون الجغرافيا القديمة لبداية الترياس مطابقة حرفياً للجغرافيا القديمة خلال البرمي (شكل ٢٥٧).

ولقد رأينا تلاشي الذراع البحري في نهاية البرمي، وتشكلت في ذلك العصر قارة واسعة ذات نظام صحراوي مؤلفة من اجتماع قارة شمال الأطلنطي وآنغاريد. أما في الجنوب فقد دام البحر الأبيض المتوسط الكبير الذي غطى قطالونيا وجزر الباليئار، والقسم الأعظم من جبال الألب والبلقان وايطاليا واليونان. وكان البحر يدفع برأس، خلال الترياسي الأوسط، وكان ذراع بحر موشلكالك هو الذي سينتشر فوق فرنسا وألمانيا وروسيا دون أن ينفذ مع ذلك في انكلترا، ولا في بريتانيا، ولا إلى بوهيميا.

وأخيراً وإلى الجنوب من بحر الميزوجيه فقد استمر الترسب القاري الفريد، الذي تولد فوق قارة غوندوانا في البرمي، استمر خلال الترياس.

وراح النبيت الترياسي يتميز فوق القارة بهيمنة عاريات البذور (Ginkgoales ،Bennettitales ،Conifèrales مع جنسي **Walchia** و **Voltzia**) والذنبيات Equisètales، في حين كانت تزدهر في البحار ما لا يحصى عدده من الطحالب الكلسية المنتسبة إلى الطحالب الخضراء Chlorophycées (Gyroporelles و Diplopores) والتي ستلعب دوراً كبيراً جداً في تشييد بعض أنواع الصخر الكلسي في الترياس الجرماني ولا سيما الألبي. أما بالنسبة للوحيش، فقد كان متميزاً على العموم بأشباه الأمونيات الخاصة (Cératites سيراتيات) وانتشار بعض شوكيات الجلد (encrines). ويجب التنويه بين الفقاريات بانتشار الأسماك المزدوجة التنفس **(Ceratodus)** والضفدعيات من سقفيات الرأس **Stégocéphales**

(Labyrinthodontes و Cherotheriums) وزواحـــف دينوصوريـــة والحوتيـــات Théromorphes .



شكل ٢٥٧ ــ الجغرافيا القديمة الترياسية (ر . فورون) .

٢ ــ التوزع الجغرافي للترياس

أ ــ ترياس جرماني

وتكون هذه السحنة منتشرة جداً في ألمانيا الوسطى (هانوفر ، تورينج ، فرانكونيا وصوآب) وفي فرنسا (الفوج الـحُثية grèseuses وهضبة اللورين) . ويكون تركيبه ثابتاً تقريباً . ويكون في المناطق التقليدية من ألمانيا الوسطى كما يلي :

الحث المبرقش (ترياس أسفل) : ويتألف عند قاعدته من شيست غضاري أحمر ومن صخور حثية دقيقة الحبات ، ثم تأتي صخور حثية خشنة وسميكة (الحث المبرقش الرئيس) . وتنتهي الزمرة بغضاريـات حمراء وخضراء ذات جبس وسافـات دولوميتيكية حاوية على المستحاثات (المسماة روت **Röth**) ذات مستحاثات بحرية تنذر ببحر موشلكالك .

الموشلكالك (ترياس أوسط): ويبدأ بتكوين Wellenkalk أو الصخور الكلسية المتموجة ذات العديد من المستحاثات البحرية (سيراتيتات وقصيرات الأرجل) ثم تأتي مجموعة الآنهيدريت **(Anhydritgruppe)** التي تنم عن نظام لاغوني عابر، وأخيراً يأتي الموشلكالك الصرف المؤلف على الغالب من صخور كلسية ذات قرصانيات (أنقاض سوسن بحري Encrines) وذات سيراتيتات (**Ceratites nodosus** و **Semipartitus**)، ويكون تجفف البحر في حوالي نهاية الموشلكالك معروفاً بتوضّع **Lettenkohle** حيث تتناوب الطبقات البحرية والطبقات اللاغونية مع سافات فحمية.

كوبر (الترياس الأعلى): ويكون لاغونياً كلياً. وهو عبارة عن مارنيات مبقعة جبسية وملحية تضم أحياناً سافات حثية ذات كنبائيات (حث ذو أقصاب).

غير أن هذا النمط العادي من الترياس الجرماني قد يتعرض لبعض التعديلات.

وهكذا يكون كوبر بحيرياً بالكلية باتجاه الشرق؛ أي في سيليزيا وبولونيا، ونشهد ظهور، وذلك عند قاعدة الموشلكالك، العديد من مستحاثات الفيرغلوري **Virglorien** الألبي (آمونيات و Gyroporelles)، مما يستتبع ذلك أنه عن طريق هذه المناطق تمت الاتصالات بين البحر الجرماني والبحر الألبي.

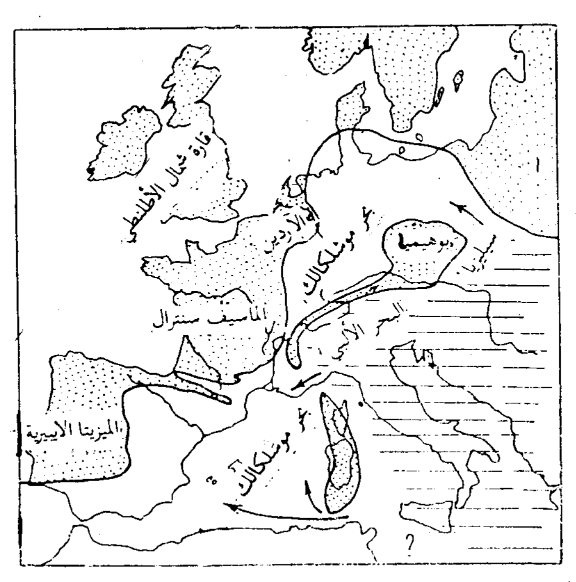
وباتجاه الشمال، في انكلترا، لا يكون الترياس ممثلاً إلا بحدّيه الأقصيين؛ أي الحث المبرقش وكوبر؛ أي نفتقد الموشلكالك، ومعنى ذلك أن البحر لم يدرك إذن انكلترا. وكذلك عليه الحال في الكتلة الآرموريكية حيث لا يكون الموشلكالك معروفاً وكذلك الأمر في كل السطيحة الروسية والمجن البلطي.

وإذا اتجهنا نحو الجنوب الغربي، في اللورين وفي جبال الفوج، فإننا نعثر على ترياس مع تقسيماته الثلاثة التقليدية والذي يرصّع الكتل الهيرسينية. ويتشكل القسم الأسفل الرئيسي من الحث المرقش هنا وهي صخور الحث الفوجي (نسبة لجبال الفوج) التي تنتهي بساف غليظ من الرصيص. وتأتي من فوقه صخور الحث أو **Grés Voltzia** (المستخدمة في البناء على نطاق واسع). ويكون الموشلكالك الأسفل هنا حثياً (الصخر الرملي) **(Muschelsandstein)** في حين يكتسب المجموع المؤلف

من الأنهيدريت ومن الموشلكالك الرئيسي هنا، صفات جرمانية بحتة. وكذلك هو شأن كوبر (مع ملح صخري مستغل في اللورين)، والذي يختتم الترياس.

ونعثر على ترياس ذي سحنة جرمانية، ولكنه ضئيل، في الجورا (انكشافات صغيرة في كتلة سير Serre ونتيجة عملية سبر Torcieu)، وفي Crussol عند حافة الماسيف سنترال. ولكن على خلاف ماتقدم نراه من جديد واسع الانتشار في البروفانس مع طبقاته الثلاث. وإلى الجنوب من ذلك؛ أي في جبال البيرينيه، يكون الترياس الأعلى، على الخصوص، هو الموجود وأحياناً مندمجاً مع صخور خضراء (أوفيت) وأخيراً، وفي اسبانيا، تندس عناصر ألبية بين العناصر الجرمانية لبحر الموشلكالك، ونجد أنفسنا هنا، كما هو الحال في سيليزيا، على تخم المجال الجيوسنكلينالي الميزوجيئي.

وبالاختصار، فإن سحن الترياس الجرمانية تسمح لنا بالافتراض، بأنه في عصر الحث المبرقش كانت أوروبا في معظمها مشغولة بصحارى، تستمر فيها الأوضاع التي سبق أن سادت فيما مضى خلال العصر البرمي. وفوق هذه الصحراء حدث طغيان بحر الموشلكالك، الذي أمكن تثبيت حدوده مع دقة كافية (الآردين، الماسيف سنترال الفرنسية، بوهيميا، سيليزيا، السطيحة الروسية، المجن البلطي... إلخ) (شكل ٢٥٨). وقد كان الوحيش الذي ترعرع ونما في هذا البحر من نمط خاص جداً، غني بالأفراد، وفقير بالأنواع، ويمكن وصفه بالوحيش المفتقر (وربما بوحيش ألبي مفتقر) متميز بالاصطفاء، كما هي اليوم حال وحيشات البحار الداخلية. وقد رأينا أن هذا البحر كان يتصل مع البحر الألبي عن طريق سيليزيا واسبانيا. ولكن الاتصالات لم تظهر بوضوح، باتجاه الشرق، في الألب الغربية ويبدو أنه كان هناك حاجز يقوم بالفصل بين المجال الجرماني ومجال الألب الشرقية (السلسلة الفينديليسية عند Gümbel). ولم يتمتع هذا البحر الجرماني، في زمن الموشلكالك، بأكثر من ديمومة عابرة، لأنه ما أن جاء عصر كوبر حتى تبخّر في مكانه وتحول إلى لاغونات تكدست فيها أكوام ضخمة من صخور مكبرتة (جبس وآنهيدريت) وملح صخري.



شكل ٢٥٨ ـــ **بحر الموشلكالك في أوروبا الغربية** (يشير القسم المنقط إلى الترياس القاري برمته، وتدل السهام على اتجاه هجرات الوحيشات الألبية) (عن م. جينيو مع تعديل طفيف).

ب ـــ ترياس ألبي

أ ـــ الألب الغربية: ويلعب الترياس فيها دوراً كبير الأهمية وتتغير سحنته حسبما نتجه من خارج السلسلة نحو داخلها (شكل ٢٥٩). وعملياً، يمكن التعرف عليه دائماً بصخوره الجبسية والكارنيول Cargneules. وهكذا يكون الترياس ضامراً جداً في نطاق الكتل المتبلورة الخارجية (الكتل الهيرسينية) بل قد يكون معدوماً (ومن هذا جاءت فرضية السلسلة الفينديليسية، التي أتينا على ذكرها قبل قليل). وعندما يوجد هذا الترياس، فهو يظهر متنافراً فوق الأراضي السابقة (متبلور، فحمي) حيث يتألف من صخور حثية غليظة، مغطاة بصخور لاغونيـة (دولومـي ذات طلاء أصهب، شيست، جبس وآنهيدريت) مع تناوبات من مسكوبات بازلتية (Spilites). وقد عثر على مستحاثات بحرية نادرة (Myophories, Diplopores) في صخور الدولوميا في جنوب كتلة بلفو Pelvoux، في حين يبدو الترياس إلى الجنوب من ذلك؛ أي في البروفانس، متكاملاً.

zones dauphinoise et ultradauphinoise — zone subbriançonnaise — z. du Briançonnais — z. des Schistes lustrés

بحر — سيليت — شيست أحمر — ريتي — كوارتزيت — ركيزة سابقة للترياسي — جبس وكارنيول

شكل ٢٥٩ ــ سحنة الترياس في جبال الألب الغربية.

وفي نطاق داخلي أكثر (نطاق بريانسونيه) نشهد تدريجياً تفـرُّد ترياس شديد الثخانة يشتمل: عند قاعدته على طبقة سميكة من الكوارتزيت (Werfénien)، وفي الوسط معقّد من جبس وكارنيول، وأخيراً في القمة، صخور كلسية رمادية سميكة جداً (Vitglorien، Ladinien وفي بعض الأمكنة Carnien و Niorien) تؤلف الصخور الغالبة في جبال ضواحي مدينة بريانسون.

وأخيراً وفي نطاق البييمـونت Piémont أو نطـاق الشيست المتقـزِّح، فإن الترياس الذي ينتظر أن يكون له تركيب مماثل، يكون متحولاً ومصـفّـحاً رقيقاً. وربما كان طابق الكوارتزيت قد تشـرَّب بالغنايس وطابق الصخور الكلسية قد تحول إلى مرمر متبلور.

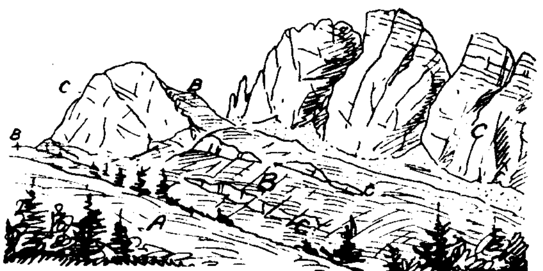
ويكون ترياس الكتل المجروفة في مقدمة ألب سافوا وسويسرا في أكثر الأحيان مشابهاً لترياس نطاق البريانسونيه، وإن كان أكثر غنى بالمستحاثات، ومن ذلك فرضية بأن هذه الكتل قد تعود أصلاً إلى هذا النطاق.

ب ــ **الألب الشرقية**: ويقدم الترياس فيها فعلاً سحنته الألبية والبحرية. فهو يكون على الغالب كلسياً ويؤلف هيكل معظم الكتل الجبلية في هذه المنطقة التي يشار إليها، لهذا السبب، باسم الألب الكلسية.

ويمكن دراسة الترياس بشكل خاص في جبال الألب البافارية، والألب النمساوية (سالزبورغ) وأخيراً في التيرول (دولوميت). ويبدأ الترياس في كل مكان بتشكلات

ساحلية ولاغونيـــة (شيست وحث، مارنيـــات ذات Myophories) مع ملـــح (Werfénien).

وفي بافاريا (غشاء جرف بافاريا)، تأتي من فوق الترياس، صخور كلس Virgloria (فيرغلوري) ذات قصيرات الأرجل وأشباه الأمونيات، التي تكون مكافئة لتكوين Wellenkalk الجرماني. ويكون اللاديني Ladinien ممثلاً فيها بشيست بارتناخ Partnach (Mègaphyllites، Daonelles) ثم تليها من فوقها صخور Wetterstein الكلسيـة الرصيفيـة (Polypiers و Diplopores). وتمثـل الصخـور الرمليـة ذات Cardites الكارني Carnien، وأخيراً فإن الدولوميا الرئيسة تختم مع أرصفـة التريـاس (Norien).



شكل ٢٦٠ ــ تبدلات سحنة الترياس الأوسط في جبال دولوميت (جنوب التيرول)، ونرى الانتقال من دولوميا Shlern (C) إلى مارنيات سان كاسّيان (B). A = طبقات Wengen (عن ف. موجسيسفيكس).

وفي ضواحـي سالزبـورغ (غشاء Hallstatt) يكـون الويرفينـي Werfénien (شيست وصخور werfen الحث المبقعة) مغـطّـى بصخور دولومي وصخور كلسية ذات رأسيات الأرجل (فيرغلوري ــ لاديني)، ثم تأتي صخور هالشتات الكلسية المشهورة الحمراء والعقدية، الغنية بالأمونيات (ستة نطاقات رئيسة) وصفيحيات الخياشيم خاصة ذات قوقعة رقيقة (Daonella, Halobia) (Carnien-Norien).

وهذه السحنة هي أفضل نماذج الترياس الألبي العميق.

وفي المنطقة نفسها، تحتوي وحدة أخرى (غشاء داشستين Dachstein) على الترياس الذي ينتهي، فوق طبقات مماثلة نوعاً ما للسابقة، بصخور داشستين الكلسية

الرصيفية (Norien) مع مدخات Polypièrs والعديد من الطحالب الكلسية (Gyproporelles).

وأخيراً تعود السحن، وذلك في التيرول أو منطقة الدولوميت (الجبال الدينارية)، تعود في مجملها أقل عمقاً، وأكثر الطبقات أهمية هي اللاديني Ladinien، الذي يشتمل على العديد من تبدلات السحنة، وتكون كلها غنية جداً بالمستحاثات (شكل ٢٦٠): مارنيات ذات رأسيات الأرجل (مثال: مستويات Wengen وسان كاسيان)، وصخور كلسية رصيفية في إقليم Marmolata، دولومي Schlern. ويتمثل الكارني بطبقات Raibl الساحلية وذات وحيشات من ثنائية المصراعين، ويتمثل النوري Norien بالدولومي الرئيس، وهو صخر بديع أبيض وسميك والذي يشكل معظم قمم الجزء الجنوبي من الكتلة الجبلية.

جـ ـــ ترياس المناطق الأخرى

لا يكون الترياس معروفاً في انكلترا، وذلك في المنطقة المحصورة بين شرق بلاد الغال وبين جنوب سلسلة بنّين، إلّا على شكل سحن قارية (صخور حث مبرقشة)، التي تشكل امتداداً للصخور الحثية الجديدة الحمراء الديفونية والبرمية. ويكون القسم العلوي من هذا الترياس حثياً بل حتى لاغونياً (طبقات حمراء حاوية على الجبس وملحية). وينطبق الأمر ذاته على القسم الأمريكي من القارة شبه الأطلنطية. غير أن طبقات الترياس الثلاث التقليدية تأخذ بالتفرد تدريجياً باتجاه الجنوب الشرقي (شكل ٢٦١).

شكل ٢٦١ ـــ التحويرات الطارئة على الترياس والتفرد التدريجي لعناصره الثلاثة التقليدية انطلاقاً من انكلترا باتجاه ألمانيا (دولي ـــ ستامب).

وعلى الجانب الآخر من بحر الميزوجيه، وذلك في مجال قارة غوندوانا، تشكل سحن صخور الحث القارية استمراراً، خلال الترياس، لطبقات البرمي، إذ تستمر فيه السرخسيات الخاصة (**Thinnfeldia** و **Glossopteris**)، كما تتناوب فيه طبقات سميكة من الفحم أيضاً.

وأخيراً يكون للترياس في افريقيا الشمالية سحنة جرمانية ويصبح حثياً (صخور رملية حمراء) في المغرب. وتتناوب في قسمه العلوي مسكوبات واسعة من بازلت دوليريتي، من أصل طفحي شقوقي، مثل مسكوبات الدكّن الكريتاسية في الهند.

الفصل السابع

الأراضي الجوراسية

١ ـــ صفات عامة

لقد صدر اسم الجوراسي من جبال الجورا في شرق فرنسا، وهي سلسلة مؤلفة في معظمها من هذه الصخور. وقد قادت الدراسات التقليدية التي قام بها Quenstedt وليوبولد دوبوش de Buch هذين الجيولوجيين إلى أن يميّزا في هذه السلسلة ثلاث مجموعات كبرى، استناداً إلى مظهر الصخور المكونة لها: الجورا الأسود (وهو أقدمها، ويعادل اللياس) والجورا الأسمر (أو الجوراسي الأوسط أو دوغّر Dogger)، الجورا الأبيض (أو الجوراسي الأعلى، أو مالم Malm).

وقد أدخلت الدراسات الليتولوجية والباليئونتولوجية فيما بعد، والتي قام بها Quenstedt ثم أوبّل Oppel تقسيمات عديدة، على هذا الثلاثي، وهكذا نجد أن أوبل خلال دراسته توزع الأمونيات توصل إلى أن يميز في الجوراسي ٣٣ نطاقاً متعاقباً حاول على أثرها أن يطبقها على مناطق أخرى. وهكذا تولد مفهوم النطاق الباليئونتولوجي والذي لم يلبث أن لحق به مفهوم السحنة. وقد تم استخدام هذين المفهومين وامتدا على أيدي الجيولوجيين المتأخرين.

وقد قادت هذه العرفية nomenclature على شكل طبقات ، والتي استخدمها الجيولوجيون الفرنسيون وتم تطبيقها على هذه الزمرة ، أقول قادت إلى التصنيف التالي والذي تم الاتفاق عليه عموماً :

الجوراسي الأعلى (أو مالم)

بوربكّي Purbeckien (توضعات بحيرية ومالحة نسبة لمنطقة Purbeck في انكلترا) .

بورتلاندي أو **(Bononien)** (كلس وصخر رملي بحريين نسبة إلى بورتلاند في انكلترا ولإقليم بولونّيه في شمال فرنسا) .

كيميرجي Kimmeridgien (مارنيات سوداء في Kimmeridge ، انكلترا) .

لوزيتاني Lusitanien (برتغال) .

سيكواني Séquanien (Astartien) (صخور Astartes الكلسية) .

روراسي Rauracien (كلس مرجاني لمنطقة روراسيا ، وهو الاسم القديم لجبال الجورا) .

آرغوفي Argovien (مارنيات ذات إسفنجيات سيليسية لمنطقة آرغوفي في الجورا السويسرية) .

أوكسفوردي (مارنيات أوكسفورد السوداء) .

كاللوفي Callovien (صخر كلسي رملي لمنطقة Kellaways في انكلترا) .

الجوراسي الأوسط (أو دوغّر Dogger)

باتوني Bathonien (صخر كلسي بيوضي أبيض نسبة لمدينة باث Bath في انكلترا) .

باجوسي Bajocien (صخر كلسي بيوضي حديدي نسبة لمدينة Bayeux في شمال فرنسا) .

الجوراسي الأسفل (لياس Lais)

آالينـي Aalénien (طبقات حديدية ومارنيات سوداء نسبة لمنطقة Aalen في ورتمبرغ) .

توارسي Toarcien (مارنيات سوداء نسبة لبلدة Touars ، منطقة Deux-Sèvres في أواسط فرنسا) .

شارموتي Charmouthien (مارنيات Charmouth السوداء . انكلترا) .

سينيموري Sinémurien (صخر كلسي أسود ذو غريفيه Gryphées في سامور Semur منطقة كوت دور في فرنسا) .

هيتّانجي Hettangien (صخر رملي ذو Cardinies لمنطقة Hettange في منطقة موزيل شرق فرنسا) .

ريتي Rhétien (صخور كلسية ذات قصيرات الأرجل وكالكاشيست ذات رأسيات الأرجل في جبال الألب الريتيكية) .

ويتميز نبيت الجوراسي بهيمنة عاريات البذور (Bennettitales و Coniférales) وولادة أوائل ذوات الفلقتين . أما الوحيش فقد كان متميزاً على الخصوص ، بظهور البيليمّيت Bélemmites وبشدة انتشار الأمونيات (أجناس **Psiloceras** ، **Arietites** ، **Schlotheimia** ، **Aegoceras** ، **Cæloceras** ، **Harpoceras** و **Amaltheus** بالنسبة إلى اللياس ، و **Parkinsonia** و **Stephanocears** بالنسبة إلى دوغّر Dogger ، و **Perisphinctes** بالنسبة إلى مالم)[1] . وتكون التكوينات الرصيفية متواترة ، كما تكون المدخات Polybiers مجتمعة فيها مع أوائل Pachyodontes **(Diceras)** . أما الزواحف ، فقد كانت في أوج ازدهارها ، وعلى الخصوص Sauroptérygiens ، والزواحف السمكية ichthyosauriens والدينوصورات Dinosauriens العملاقة . وبدأ ظهور الزواحف المجنحة Ptérosauriens . وعلينا الانتظار حتى حوالي نهاية الجوراسي ، كي يظهر أول طير وهو **آركيوبتيريكس Archæopteryx** في حين ظهرت اللبونات العديدة الدرنيات Multituberculés منذ ما تحت اللياس infralias .

أما من وجهة النظر الجغرافية القديمة فليس هناك أكثر من اختلاف ضئيل جداً

---

(١) إن أكثر تعاقب لنطاقات الأمونيات استعمالاً بصورة دارجة بالنسبة للجوراسي هو قائمة نطاقات آمونيات الجوراسي في الفصل الأول من القسم الثاني .

بين نهاية الترياس وبين بداية الجوراسي. فقد ظلت المناطق الرومية (المتوسطية) والألبية مشغولة ببحر عميق راح يجنح نحو الاتساع، وهو بحر ميزوجيه، في حين أصبح المجال القاري لشمالي أوروبا، وهي بقية من السلسلة الهيرسينية القديمة وإرث الترياسي، أصبح شيئاً فشيئاً خاضعاً لاجتياح طغيانات بحرية قادمة من الجنوب والتي لم تكف عن التقدم طيلة كل الجوراسي (شكل ٢٧١) وفي هذا النطاق الذي اجتاحه البحر راحت تأخذ منطقتان بالتمايز والتفرد:

١ً ــ مناطق ظلت ناتئة، أو هورستات هيرسينية، والتي لن تكون إطلاقاً مغطاة بالبحر والتي سيكون للجوراسي من حولها سحنة ساحلية: وهي انكلترا باستثناء الجنوب الشرقي، بريتانيا، الماسيف سنترال الفرنسية، الكتلة الشيستية الرينانية، الكتلة البوهيمية وملحقاتها، السطيحة الروسية، جبال الفوج، الغابة السوداء في ألمانيا، الميزيتا (المائدة) الإيبرية وقطالونيا، جبال مور استيريل في جنوب شرق فرنسا وجزيرتي كورسيكا وسردينيا.

٢ً ــ وكانت المناطق الواقعة بين الهورستات Horsts، التي تشكل جزراً في البحر الجوراسي، تجنح إلى الانخفاس مؤلفة رقع تغريق، حيث تسلل البحر على شكل مضائق أو أحواض: كالحوض الانكليزي الباريسي، حوض آكيتانيا، حوض نهر الرون، حوض صوآب. وكان مضيق بواتو Poitou يحقق الاتصال بين الحوض الانكليزي ــ الباريسي وبين حوض آكيتانيا ومضيق كوتدور Côte-d'or، في حين كان يصل الحوض الانكليزي ــ الباريسي مع حوض الرون (شكل ٢٦٧).

وإذا كانت الرسوبات الجوراسية، في المناطق الجيوسنكلينالية الميزوجيئية (وعلى الخصوص في جبال الألب)، كانت سميكة وملتوية على الدوام، فقد كان للرسوبات الناشئة في الأحواض السالفة الذكر نمط فوق قاري épicontinental؛ أي ستكون رقيقة، وغير ملتوية ولا متحولة.

وتستدعي ستراتيغرافية الجوراسي التقليدية إذن سرد تاريخ المقعر الأرضي الألبي ــ الرومي (المتوسطي) وتاريخ هذه الأحواض. وسنرى أن من الممكن اعتبار

مجمل الجوراسي كطغيان واسع واقع بين انحسارين، إذن ذاك ما اتفقنا على تسميته دورة رسوبية.

ولكن هناك واقعاً جغرافياً قديماً شديد الأهمية سيحدث خلال الجوراسي وبعد الريتي Rhétien. وهو تجزؤ قارة غوندوانا بفعل طغيانات البحار الميزوجيئية. فبرز ذراع بحري يمر من قناة موزمبيق متفرد، يفصل القارة إلى كتلة افريقية برازيلية وكتلة استرالية هندية ملغاشية والذي انشطر ذاته في الباجوسي إلى منطقة هندية ملغاشية واستراليا، منفصلة بامتداد من بحر الميزوجيه والذي سيصبح طليعة المحيط الهندي (شكل ٢٧١). وعلى كل حال ظل النبيت فيه متماثلاً جداً (نبيت **Thinnfeldia**)، مستمراً بذلك في التنويه على الوحدة المناخية لهذه المناطق المختلفة [1]. وهكذا نستطيع إذن أن نتكلم عن مناخات العصر الجوراسي. وعليه سيكون لدينا براهين أخرى لوجود، إلى الشمال أكثر من ذلك، أقاليم مدارية وشمالية متميزة بوحيشات خاصة.

٢ ــ توزع الجوراسي جغرافياً

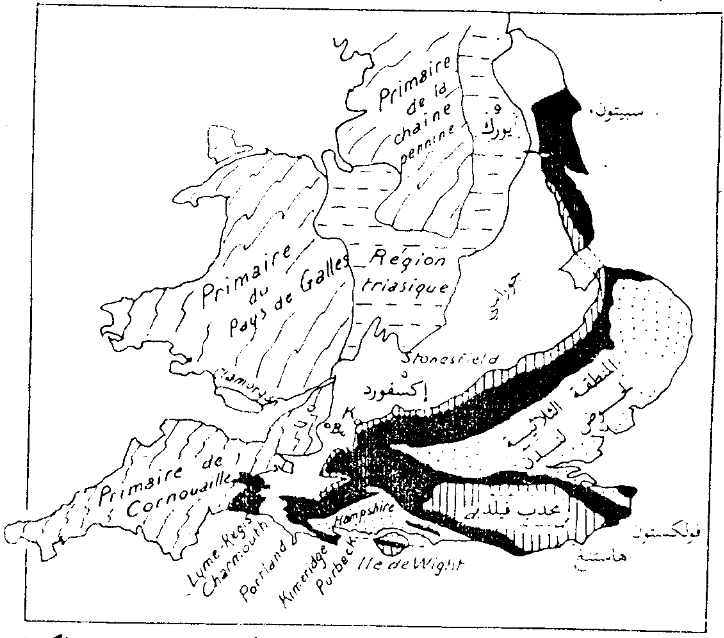
أ ــ الزمرة الكلاسيكية للجوراسي الانكليزي

يؤلف الجوراسي في انكلترا شريطاً عريضاً من الانكشاف ابتداءً من ساحل دورست Dorset في الجنوب الغربي، حتى ساحل يوركشاير في الشمال الشرقي. ولما كان غنياً بالمستحاثات (الحفريات) فقد قدم بضعة نماذج من طوابق وتتمة اكتمل التنقيب عنها في النطاقات الباليئونتولوجية لرأسيات الأرجل. ولكننا نعثر على الانكشافات، التي تظهر على شكل مزق سلمت من الحت، نعثر عليها إلى الشمال من ذلك بكثير، حتى في جزر هبريد، وفي ذلك برهان على أن بحر الحوض

(١) ولا بأس من التذكير بأن تجزؤ قارة غوندوانا هو، في نظر فيجنر، بالحقيقة نتيجة تشقق متبوع بانفكاك وبانسياح الأجزاء المتشكلة نتيجة ذلك.

الانكليزي ــ الباريسي قد امتد على نطاق واسع فوق قارة شمالي الأطلنطي (شكل ٢٦٢) .

اللياس: ويبدأ بطابق ريتي Rhétien مارني ــ حُثّي ذي سافات من عظام (bonebeds) . ويكون الهيتّانجي والسينيموري الأدنى ، اللذان يتخذان شكل صخور كلسية مارنية ، مرئيين بوضوح في جروف Lyme Regis الساحلية الشهيرة بجمال المستحاثات التي استخرجت منها (زواحف بحرية وأمونيات مع قوقعتها) . ومن فوقه يتمثل السينيموري الأعلى والشارموتي الأسفل (بلينسبـاشي Pliensbachien) بمارنيات ذات رأسيات الأرجل سميكة جداً ، تضم ، في الشمال ، سافات من فلزات الحديد . ويكون الشارموتي الأعلى (دومري Domérien) أقل عمقاً . وهي غضاريات رملية وصخور حثية حاوية على الكلس وحديدية ، ثم تختم الزمرة بتوارسي Toarcien مارني على العموم .



شكل ٢٦٢ ــ خارطة جيولوجية لجنوب من انكلترا تظهر فيه انكشافات الجوراسي والكريتاسي الأسفل والكريتاسي الأعلى والثلاثي (K = Kellaways ، B = باث في الشمال وبرادفورد) . الأبيض = جوراسي ، الخطوط العمودية = كريتاسي أسفل ، الأسود = كريتاسي أعلى . المنقط = ثلاثي .

دوغّر: ويكون على العموم كلسياً وساحلياً، وإن كان رملياً في قاعدته. ويكون الجزء الأكبر فيه مؤلفاً من صخور كلسية حديدية، حثية أو بيوضية بحرية، oolithiques والتي تقابل الآلينـي Aalénien، والباجـوسي والباتـوني الأسفـل (inferior Oolite).

ولكن كلما صعدنا أكثر في اتجاه الشمال، كلما انكمشت السحن البحرية في هذا المجموع الأول، وذلك لمصلحة طبقات خليجية نهرية رملية ذات ثنائيات المصراعين الماهجة [٢] والتي تشير إلى الاقتراب من قارة شمال الأطلنطي. ويضم طابق الباتوني، المتميز بصورة طيبة في الجنـوب (Great Oolite) من الأسفـل إلى الأعلى، ما يلي: **Fullers earth** (terre à foulon أو **بيلون**) و **Great Oolite** (صخر كلسي بيوضي رئيس)، و **Bradford Clay** (برادفوردي) و **Forest marble** (كلس أزرق متآخذ)، و **Cornbrash** (صخور كلسية مارنية تقدم أراضٍ طيبة لزراعة القمح).

مالم: ويبدأ بتكوين **Kellaways rock**، وهو عبارة عن صخر حثّـي كلسي غضاري غني جداً بالمستحاثات من نمط الكاللوفي. ثم يأتي **Ox ford clay** أو غضار أوكسفورد، من نمط أوكسفوردي. وتمثل اللوزيتاني صخور كلسية مرجانية (Corallien لدى الجيولوجيين الانكليز) ذات الأرصفة الحقيقية **(Coral rag)** ولكن بدون **Deceras** وتحل مكان هذه الصخور الكلسية في الشمال سحن غضارية مع محارات. ومن فوق ذلك قدمت زمرة **Kimmeridge Clay** الغضارية، الغنية بالزواحف البحرية، وبالأمونيات وبالمحارات **(Exogyra Virgula)** نمط طابـق الكيميرجـي. وربما كان من الممكـن أن ننسب إلى البورتلاندي (Bononien) القسم الأعلى من هذا التكوين (وجود أمونيات خاصة **Virgatites**) المنتشرة على الخصوص في شبه جزيرة بورتلاند، حيث تظهر في قاعدته **رمال بورتلانـد** **Portlands Sands** وفي القمـة **Portland Stones** (صخـور كلسية ذات Trigonies و **Perisphinctes**) وإلى الشرق من بورتلانـد تختتم الزمرة بطبقات تدعى صخور بوربك (Purbeckien)، وهي عبارة عن تناوب طبقات بحرية

(٢) القليلة الملوحة.

ذات Trigonies وتكوينات الماء الماهج (جبس) وبحيري (Unios و Physes) تنتقل بصورة غير محسوسة إلى الكريتاسي (Wealdien). وتغيب باتجاه الشمال التوضعات البوربكية وتشير ثغرة حقيقية إلى تنضيد الجوراسي. إذن كان يوجد هنا نطاق طافٍ كان يفصل الحوض الانكليزي ـــ الباريسي، وهي ملحق بالمجال الحار الميزوجيئي، عن حوض شمالي أكثر برداً يضم انكلترا وألمانيا الشمالية وروسيا وبولونيا. والذي سنتكلم عنه فيما بعد.

ب ـــ جوراسي الحافة الشرقية لحوض باريس

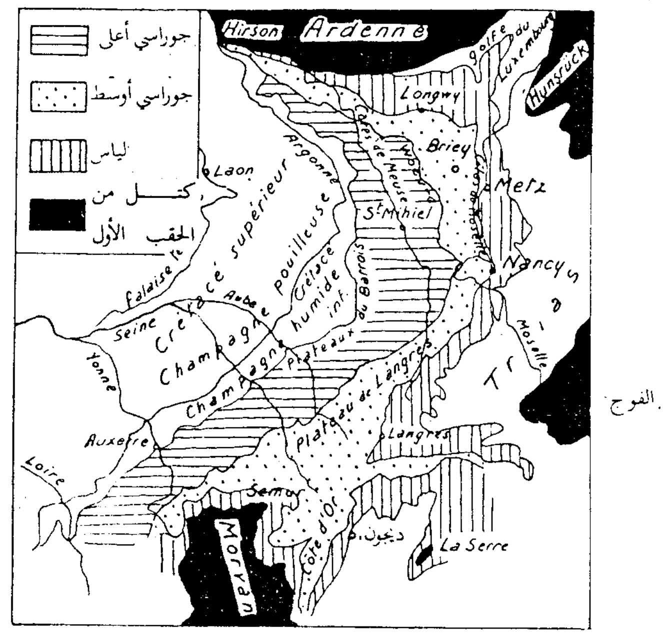
وهو الذي سنجده متكشفاً في بورغونيا وفي اللورين على شكل هالة طويلة. ويكون سميكاً جداً في وسط الحوض إذ يبلغ ١٢٠٠م ويعرض صفات انكباس لا جدال فيها (شكل ٢٦٣ و ٢٦٤).

اللياس: يتميز الريتي Rhétien فيها بطبقات غنية جداً بقواقع بحرية (lumachelles) نذكر منها **Avicula contorta** (سحنة صوآبية للريتي)، ولكن تتعاقب فيها أيضاً سافات لاغونية مع **bone beds** (انتقال للترياس). ويكون الهيتانجي بحرياً صرفاً ويتألف من مارنيات أو من صخور كلسية مارنية ذات **Psiloceras planorbis** وصخور كلسية ذات **Schlotheimia angulata** أو من صخور رملية ذات **Pecten valoniensis**.

ويكون السينيموري ممثلاً بصخور كلسية ذات **Gryphea arcuata** وآريبتيت تنتهي بطبقة «صخر كلسي أمغر ocreux» غني جداً بالمستحاثات بضواحي مدينة نانسي (Lotharingien). ويضم الشارموتي، من الأسفل إلى الأعلى، مارنيات ذات **Zeilleria numismalis**، وصخور كلسية مارنية ذات **Deroceras Davoei**، وأخيراً «مارنيات ذات أشباه البيوض ovoîdes» تختتم بصخور كلسية حثية gréseux ذات Amalthées.

أما التوارسي، الشديد السماكة، فيتألف حصراً من مارنيات ذات

Posidonomyes مع شيست بيتوميني (حُـمَّـري) ومارنيات ذات **Lytoceras jurense** و **Trochus sub-duplicatus** وينتهي أحياناً بمارنيـات غنيـة بالميكـا micacées ؛ أي ميكاسية .



شكل ٢٦٣ ــ خارطة الحافة الشرقية للحوض الباريسي .
تظهر فيها هالات الجوراسي والكريتاسي .

ويكون الآليني شهيراً بطبقاته من الحديد البيوضي ، التي تؤلف الفلزات المعروفة باسم minettes مينيت اللورين . وتناقص البحر من حيث العمق ، واستقر ترسب من نمط خاص يتألف من صخر كلسي بيوضي حديدي حاوٍ على القليل من الفوسفور موزع على قرابة عشر طبقات عدسية الشكل ضمن معقد مارني ــ حُثي gréseux .

وحينما تكون الزمرة الحديدية كاملة يكون لدينا من الأسفل ومن الأعلى بالتعاقب ما يلي : الطبقة الخضراء (غير مستغلة) ، الطبقة السوداء ، الطبقة السمراء ، فالطبقة الرمادية (وهي أهمها وأكثرها استمراراً) والطبقتان الصفراوان والطبقان الحمراوان . وتكون المستويات السفلى والمستوى العلوي سيليسية ، في حين تكون الطبقات الوسيطة

كلسية. ويكون محتواها من الحديد متبدلاً جداً ولكنها لا تكون مدعاة للاستثمار إلا ابتداءً من ٣٠٪.

دوغر: ويبدأ بصخور كلسية ذات قرصانيات entroques ومدخات Polypiers تقابل الباجوسي، وتأتي فوقها مارنيات أو صخور كلسية بيوضية باتونية.

مالم ــ ويكـــون مجمـــوع الكاللوفي، في منطقة بورغونيا، مؤلفاً من صخـور كلسيـــة خاصة ذات قرصانية entroques وثنائيات المصراعين (« dalle macrée » بلاطـة صدفيـــة) (H. Tenant)، ولكـن يأتي فوق هذا الطابق كتلة سميكة من المارنيـات أو الغضاريـات التـي تشكـــل بدايـــة الغضاريـات الشهيرة لمنطقـــة ويفـــر Woëvre والتي ستستمر، بالتضافر مع غضاريـات ذات أمونيـــات بيريتيـــة (Creceniceras Renggeri) Pyriteuses، خلال كل الأوكسفوردي. وتقدم قمة الأوكسفـــوردي سحنـــة ذات شايْ Chailles (صوان غير كامـــل كلسي جزئياً) مع إسفنجيات سيليسية.

شكل ٢٦٤ ــ مقطع تبسيطي للحافة الشرقية لحوض باريس يظهر فيه تعاقب مختلف الطبقات الجوراسية.

وفي اللوزيتاني، وقع عوم كتلة الفوج ــ الغابة السوداء الذي راح يتناسب مع

نشوء أرصفة مرجانية في كل إقليم اللورين، هذا في حين استمرت السحن الوحلية ذات الأمونيات في مضيق المورفاني ــ الفوجي وكوت دور. وتكون المعقدات الرصيفية، الغنية بالأخينوس «قنفذيات» Oirsins **(Glyptichus)** في القاعدة (غليبتيسي Glypticien)، مصحوبة بوحيشات خاصة من سميكات الأسنان Pachyodontes (**Diceras**، Diceratien) وبريشات مرجانية، وصخور كلسية بيوضية وحتى، محلياً، بصخور كلسية وحلية حاوية على الأمونيات (صخر كرو Creue الكلسي).

ومع الكيميرجي والبورتلاندي تحددت العودة إلى الترسب الوحلي والكلسي: صخور كلسية غضارية ذات Harpagodes (Ptérocérien) ومارنيات ذات **Ostrea virgula** (فيرغولي Virgulien) وذلك بالنسبة للكيميرجي، وصخر كلس باروا Barrois ذو **Pachyceras** بالنسبة للبورتلاندي. ولا يكون هذا البورتلاندي هنا كاملاً بالفعل (اللورين وبورغونيا) إذ ينتهي بالفعل بطبقات ذات وحيش أجاجي Saumâtre (Corbules, Cyrènes) التي تنم عن الانحسار الكبير في نهاية الجوراسي.

جـ ــ جوراسي الحافة الغربية للحوض الباريسي

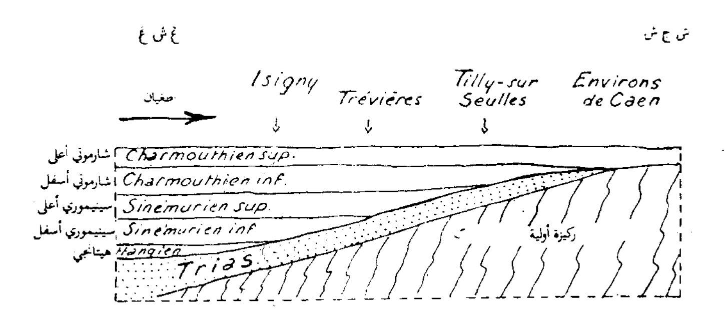
وهذا هو الذي يتكشف في نورماندیا، على طول شبه جزيرة بريتانيا.

لياس: ويكون طغياناً (شكل ٢٦٥ و ٢٦٦) فوق الأراضي القديمة. ولا يكون الريتي معروفاً في منطقة فالونيه Valognes في الشمال، ولا تبدأ الزمرة في المناطق الأخرى إلّا بالهيتانجي (منطقة Cotentin)، وبالسينيموري (Bayeux) أو بالشارموتي (Caen). وكذلك انفتح في الزمن الشارموتي هذا مضيق بواتو.

ويشير التوارسي، في نورماندیا، إلى الحد الأقصى من عمق البحر، لأنه ابتداءً من الآليني، عادت السحن فأصبحت ساحلية (كلس مارني ذو صوان يلقب «مالیير Mâlière»).

دوغـر: يظهر الباجوسي بحالة صخر كلسي فوسفاتي حاو على المستحاثات

قرب كان، وعلى شكلِ سرئيات oolithe حديدي، غنـي بدوره بالمستحاثـات في Bayeux، على شكل سرئيات oolithe بيضاء. ويشتمل الباتوني على طبقات مارنية أو كلسية (حجر Caen) أو سرئية (سرئي عسكري)، مثلما يحتوي في قسمه الأعلى (برادفوردي) على صخور كلسية نيريتية (بحرية ضحلة) ذات إسفنجيات كلسية. وفي الجنوب تسود سحن حطامية ساحلية مؤلفة من آركوز وحث.

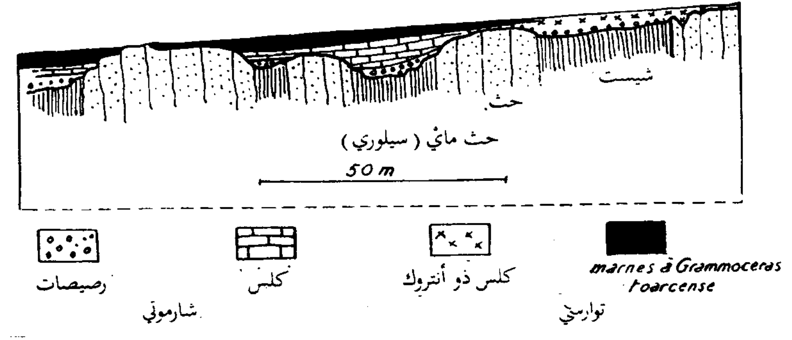


شكل ٢٦٥ ــ اجتياح النورماندي تدريجياً من قبل بحار اللياس. (P.Lemoine)

مالم: وقـد توضّـح الطغيـان الجوراسي في هذه الفتـرة. فيكـون الكاللوفي ــ الأوكسفوردي متميزاً بالغضاريات السوداء الشهيرة في روشن فاش نوار الساحلي الغني جداً بالأمونيات **(Cardioceras)**. وتقوم الصخور الكلسية والرصيفية بتمثيـل الآرغـوفي. ثم تأتي صخـور حث ذات تريغـوني Trigonies (روراسي Rauracien) وأخيراً غضاريات ومارنيات حثية عائدة للسيكواني التـي تتعـاقب فيها مستويات رملية تضم مستحاثات بديعة مكشوفة (مكامن Glos و Cordebugle). وينكشف الكيميرجي قرب الهافر، عنـد رأس Hève، مع كلسيـات مارنيـة عنـد القاعدة، وغضاريات ذات **Ortrea virgula** في القمة، والتي تختتم الزمرة الجوراسية في المنطقة.

د ــ جوراسي لوكسمبورغ، والآردين وبولونّيه

وهو جوراسي كثير الثغرات والذي يشير إلى السواحل الشمالية الشرقية من حوض باريس.



شكل ٢٦٦ ــ تحديد الركيزة الباليوزوئية بالطبقات الجوراسية في نورمانديا. هضبة سان مارتان في فونتوي، قرب كان (آ . بيغو) .

اللياس: لا يكـون الريتـي Rhétien معروفاً إلا في اللوكسمبـورغ وفي شرق الآردين، ويكون حثياً gréseux وذا سحنة مماثلة لما هي عليه في صوآب الألمانية. ثم تبدو طوابق اللياس المختلفة طغيانية بالتعاقب في اتجاه الشمال الغربي (ففي منطقة هيرسون Hirson يتكشف الشارموتي فوق الأولي Primaire)، وعلى شكـل سحـن حطامية. ونذكر على الخصوص صخور لوكسمبورغ الحثية أو حث هيتّـانج، ذو **Cardinia hybrida**، وهي نماذج من الهيتّانجي.

شكـــل ٢٦٧ ــ فرنسا خلال اللياس الأوسط (الخطوط الأفقية المتباعدة هي منطقة التغريق، أما الخطوط المتراصة فتمثل النطاقات الجيوسنكلينالية. وتشير الخطوط المتقطعة إلى النطاقات البحرية الضحلة وذات ثغرات. ١ = مقعر جيولوجي شمال البيرينيه. ٢، المقعر الجيولوجي للدوفينيه. ٣، المقعر الجيولوجي البريانسوني. ٤، المقعر الأرضي البيمونتي (L.Bertrand) .

دوغــر: وهـي صخـور كلسيـة ذات قرصانيـات entroques، سرئيـة أو مرجانية.

مالم : يظل الكاللوفي مارنياً في الآردين، ولكن القسم الأعظم من الأوكسفوردي يعرض سحنة الغيز «gaize» الحاوي على الأوبال (عين الهر) مع شوكات إسفنجيات. ويضم القسم العلوي من الطابق هذا على فلزات الحديد السرئي (فلز حديد Neuvizy نوفيزي). أما في منطقة بولونّيه فيحتفظ الكاللوفي ـــ الأوكسفوردي بسحنة أوكسفورد الغضارية. وتلاحظ تبدلات السحنة ذاتها بالنسبة إلى اللوزيتاني، الذي يكون مرجانياً في الآردين، ولكن تجتاحه المارنيات ذات الأمونيات في بولونّيه.

أما في البولونّيه فيكون الكيميرجي مؤلفاً من غضاريات محارية مع تناوبات رملية. وستجتاح هذه الطبقات الناشئة في مصبات خليجية estuaires البورتلاندي في هذه المنطقة، وكذلك بورتلاندي بلاد براي Bray واللذين يقابلان البورتلاندي الأسفل (بونوني)، في حين يكون القسم العلوي من الطابق ممثلاً بمعقدات بحيرية تنتسب إلى البوربيكي، والذي خددته الرمال القارية الكريتاسية (فيلدي Vilealdien).

ولنلاحظ أن وحيشات ذات وشائج قربى شماليـــة (**Pseudo-virgalites**، Aucelles) تكون، في بولونّيه شأنها في جوراسي انكلترا العلوي، مشتركة بأشكال من الحوض الباريسي (Gravesia و Perisphinctes).

ذاك هو ما نجده هنا على مقربة من المجال الشمالي الذي سنعالجة الآن.

هـ ـــ الجوراسي الأعلى في الحوض الشمالي

هناك شواهد عن الجوراسي ذي سحنة شمالية توجد في إنكلترا (كونتّية يورك ولينكولن) تؤلف قاعدة «غضاريات سبيتون Speeton» (التي يكون القسم الأعظم منها كريتاسياً) أما في روسيا وبولونيا فقد عاد وتشكل، وذلك منذ الكاللوفي، ذلك الذراع البحري الروسي الذي حقق الاتصال بين البحر الميزوجي والبحر القطبي. وقد توضّعت هنا؛ أي في المنطقة المركزية، قرب مدينة سيمبيرسك، الطبقات الغضارية المتميزة بوجود **Virgalites** و Aucelles (بوني Bonien) و **Graspedites** و **Garniera** (بورتلاندي أعلى أو آكيلوني)، والتي تنتقل في استمراريتها إلى الكريتاسي البحري.

وهذا البورتلاندي الشمالي، المختلف تماماً عن البورتلاندي الكلاسيكي (غياب تام للأرصفة ذات المدخات، والأمونيات Ammonites الخاصة) هو الذي يشكل طبقة الفولغي (نسبة إلى نهر الفولغا) لدى الجيولوجيين الروس، وهو طابق، أمكن تبيان تعادله مع البورتلاندي.

غير أنه سبق أن رأينا أن مؤثرات شمالية قد أخذت تظهر في الجوراسي الأعلى من ناحية في انكلترا ومن ناحية أخرى في منطقة بولونّيه. إذن يجب التسليم بأن اتصالات قد تحققت في ذلك العصر بين البحار الروسية وبين بحر الشمال، وقد أمكن تحقق هذه الاتصالات من خلال طريقين: من ناحية الطريق الشمالي بواسطة النرويج (مزقة جوراسية ذات سحنة شمالية في لوفوتن) ومن ناحية أخرى عن طريق الجنوب (بورتلاندي ذو Aucelles و **Virgatites** في بوميرانيا، في بولونيا الشمالية الغربية).

و ــ جوراسي جبال الجورا وبورغونيا

تؤلف جبال جورا صوآب، وجورا فرانكونيا والجورا الفرنسية ــ السويسرية الأراضي التقليدية لدراسة الجوراسي. ففي الحوضة الجرمانية (جورا صوآب وفرانكونيا) تكون السحن على العموم وحلية (ولا سيما في الجوراسي لأوسط)، إذن أكثر عمقاً من سحن الحوض الانكليزي ــ الفرنسي، ولكنها تعود مرجانية المنشأ اعتباراً من اللوزيتاني في إقليم هانوفر. غير أننا نجد، في إقليم صوآب وفرانكونيا، نجد صخوراً كلسية ذات حبات دقيقة متناوبة بين كتل الطبقات الرصيفية، وعلى الخصوص في سولنهوفن، وهي بلدة شهيرة بصخورها الكلسية الطباعية والتي قدمت مستحاثات بديعة من الفقاريات السابحة والبرية ولا سيما حيوان **آركيئوبتيريكس**، وهو أقدم طير معروف، الذي خرج بالكاد من السلالة الزاحفة. غير أن منطقتي بوهيميا والكتلة الرينانية لم تتعرض للغمر بالبحار الجوراسية، كما أن جبال الفوج والغابة السوداء لم يتم طفوهما من المياه إلّا في الجوراسي الأعلى.

وسنقــدم هنــا بعض التفصيــلات عن الجوراسي في جبــال الجورا الفرنسية ــ السويسرية.

اللياس: ويظهر مشابهاً لحد بعيد لمثيله في اللورين. فعند الأساس يكون الريتي Rhétien ممثلاً بسحنته الصوآبية Souabe. ثم تأتي صخور كلسية ذات محارات غريفيه Gryphées تعود للسينيموري والمارنيات السوداء العائدة إلى اللياس الأوسط والأعلى مع سافات من فلزات الحديد السرِّي، الذي يلفت النظر بغناه بالمستحاثات في موقع La Verpillére، والذي يختتم بصخور كلسية ذات **Cancellophycus**.

دوغّر: ويضم، بدءاً من القاعدة، الباجوسي، المؤلف من صخور كلسية ذات قرصانيات شديدة السماكة، ثم نجد في القمة مارنيات ذات **Ostrea acuminata** تمتطيها صخور كلسية سرئية (فيزولي Vésulien). ويتمثل الباتوني بصخر مارني ــ كلسي ذي قصيرات الأرجل متميز جداً، يدعى «شوان Choin» المستغل في بلدتي Villebois و كوبلانشيان.

مالم: ويتألف الكاللوفي تارة من «بلاط صدفي» وتارة أخرى من صخور كلسية سرئية حديدية غنية بالمستحاثات (مكمن شاناز في السافوا). ويكون الأوكسفوردي مارنياً وينتهي في بعض الأمكنة على شكل طبقات ذات شايْ Chailles.

ويكون المجموع اللوزيتاني ــ البورتلاندي على العموم كلسياً. ويتألف من عدسات كلسية مرجانية جسيمة تنفصل عن بعضها بمارنيات ذات إسفنجيات سيليسية (آرغوفي). وقد أمكنت دراسة توزع هذه الأرصفة récifs في الزمان وفي المكان وتبيان (انظر شكل ١٦٨، III) أن هذه الأرصفة تكون أكثر حداثة (وتقع في طابق أكثر ارتفاعاً) كلما كانت واقعة أكثر في اتجاه الجنوب، أو بعبارة أخرى، حدثت خلال الجوراسي الأعلى، هجرة حقيقية لأرصفة مدخات Polypiérs نحو النطاق الاستوائي. وعلى هذا الأساس نصادف الأرصفة اللوزيتانية على الخصوص في منطقة Lons-le-Saunier وبيزانسون، وأرصفة ptérocériens في جوار سان كلود حيث يوجد رصيف Valfin البديع، والغني بالديسراس **Diceras**، والأرصفة الفيرغولية عند La Faucille، وأخيراً الأرصفة البورتلاندية في Salève وفي Echaillon قرب مدينة غرينوبل. وقد ظلت هذه الأرصفة أثناء تراجعها نحو الجنوب متدرجة على طول البحر

الألبي . وكانت تمتد فيما وراء ذلك لاغونات أو بحيرات البوربكي (طبقات ذات قواقع بحيرية و Chara ، وبـريشات ذات حصويـات سوداء) والتـي كانت تتاخـم حوض باريس ، الذي كان عائماً كلياً حوالي نهاية الجوراسي .

ز ـ جوراسي حافة الماسيف سنترال الفرنسية

يؤلف الجوراسي حاليـاً حول الماسيـف سنتـرال حافـة ، هي تخم حتّـى d'érosion ، ويبدو من المؤكد أن كانت كل الكتلة القديمة حيناً من الدهر مغمورة كلياً بالبحر . وعلى كل حال من الممكن أن هذه الكتلة استطاعت أن تشكل بصورة مؤقتة نوعاً من جزيرة صغيرة في بحار الجوراسي .

هذا وتعرض مزق من الجوراسي ، المحفوظة في ميادين انكسارية ، وذلك على طول الحافة الشرقية للكتلة المركزية ، ابتداءً من ليون حتى النهاية الشمالية لإقليم المورفان Morvan ، تعرض فيها سحناً مشابهة جداً لسحنة الجورا الجنوبي أو لسحنة بوروغونيا . وأجمل انكشاف هو انكشاف موندور Mont-d'or بجوار مدينة ليون (شكل ٢٦٨) حيث تكون الزمرة كاملة بدءاً من الريتي Rhétien حتى الباجوسي الأعلى ذاته ، والتي يكون ممثلاً فيها بصخر كلسي رمادي ذي مستحاثات متسليسة Silicifiés معروفة بالمنطقة باسم « سيريه ciret »[1] . وهنا ينتهي المقطع نظراً إلى أن بقية الجوراسي قد تعرضت للإئتكال بفعل الحت . وعلى خلاف ذلك نجد في منطقة يون Yonne ، إلى الشمال من مورفان ، أن الزمرة تكتمل بالجوراسي الأعلى (آرغوفي ذو إسفنجيات وشايّ ، وأرصفة روراسية وسيكوانية) .

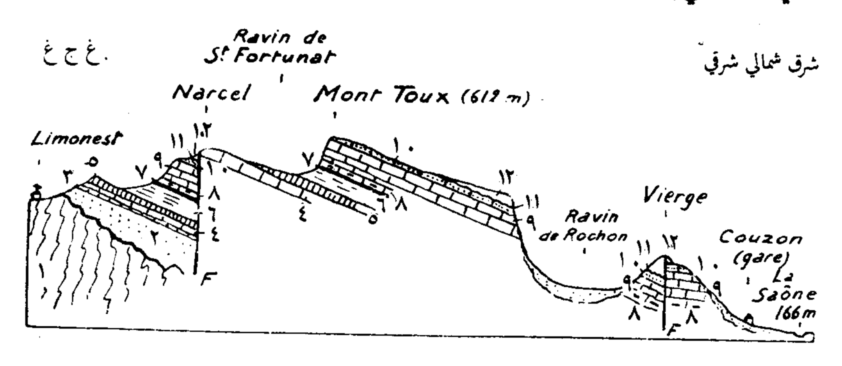
ولكن كلما اقتربنا من مضيق بواتو Poitou ، كلما أصبحت سحن الجوراسي ساحلية وحتى أجاجية saumâtres أو بحيرية (وللتذكير أن هذا المضيق لم يعمل إلّا ابتداء من الشارموتي) .

وهناك تنوع خاص يجب إيراده بخصوص جوراسي منطقة القوص Causses في

---

(١) F. Roman. **Géologie Lyonnaise** 1.Vol.356P. Paris presse univ. 1926

جنوب الماسيف سنترال حيث نعثر على لياس كامل، ثخين ووحلي نوعاً ما، حاوياً على بعض وشائج قربى مع لياس الحوض الجرماني. ولم تظهر السحن الكلسية والدولوميتية إلّا ابتداءً من الآليني Alénien والتي تمنح المنطقة مظهرها المميز جداً (المشهد الكارستي النموذجي).



شكل ٢٦٨ ــ **مقطع لمنطقة موندور Mont d'or قرب ليون**. (عن آ. ريش) (١، غنايس. ٢، ترياس. ٣، ريتي. ٤، هيتانجي. ٥، سينيموري. ٦، شارموتي. ٧، توارسي. ٨، صخر كلسي ذو **Cancellophycus** = z، وذو **L.Murchisonoe**. ٩، كلس ذو قرصانيات. ١٠، كلس ذو برويات حيوانية = z. وذو **L.Concava**. ١١، طبقات أغشية جرف تحت بحري ذو **Sterphanoceras Blagdeni**. ١٢، Ciret = z ذو **Lissoceras oolithicum**).

وتجدر بنا الإشارة أيضاً إلى جوراسي المزقة lambeau الصغيرة في منطقة كروسول Crussol تجاه مدينة Valence، حيث يكون فيها من الممكن ملاحظة ترسب متثغّر Lacuneuse نموذجي خلال كل اللياس (رسوبات رقيقة جداً) ودوغّر. ولا يبدأ ترسب الأعماق بالظهور هنا إلا ابتداءً من الباتوني الأعلى: مارنيات ذات Posidonomyes كاللوفية ــ أوكسفوردية، مارنيات ــ كلسية لوزيتانية، صخور كلسية متآخذة بيلاجية (نسبة لرسوبات الأعماق في عرض البحر) كيميرجية وبورتلاندية حاوية على السحنة المسماة تيتونية Tithonique. ولا يعود الجوراسي للظهور، إلا في جنوب كروسول، في الهضبة الكلسية الصغيرة لمنطقة des Gras، وهو نوع من هضبة كارستية في صخور كلسية لوزيتانية وتيتونية.

حـ ــ السحن الجيوسنكلينالية الميزوجية للجوراسي

لقد سبق لنا أن رأينا في الفصل المخصص للتكتونيك كيف كان تركيب

الجيوسنكلينال الألبي خلال الجوراسي وكيف كانت تتوزع فيه السحن. ولنتذكر أنه، خلال كل ذلك الدور، كانت منطقة الألب الغربية مشغولة بجيوسنكلينالين واسعين هما: الجيوسنكلينال الدوفيني في الغرب والجيوسنكلينال البييمونتي في الشرق، والمنفصلين بالمحدب العملاق (كورديللير) لمنطقة بريانسونّيه (شكل ٢٦٩). وفضلاً عن التكوينات الوحلية العميقة في المقعرات الأرضية، المتميزة هنا بالأمونيات البحرية السحيقة (**Lytoceras** و **Phylloceras**) علينا إذن أن ندرس السحن البحرية الضحلة؛ أي النيريتية néritiques في حزم السلاسل الجبلية Cordillères وعلى حافة المقعرات الأرضية. ولنضف إلى ذلك أن وحيش الجوراسي الأعلى الألبي، والذي تكون فيه كل العناصر الشمالية غائبة، يرتبط بشكل وثيق بالإقليم المداري الميزوجيئي.

ولكن يجب أن نضيف إلى هذا القسم الألبي البحت، في المجال الميزوجيئي، كل الأجزاء التي ستدمج فيما بعد في الالتواءات الثلاثية حيث يتصف الجوراسي في أكثر الأحيان بسحنة جيوسنكلينالية: جبال الألب الإيطالية، حيث يدعى (الكلس الأمونيتي الأحمر **Calcare ammonitico rosso**)، وفي جبال الكاربات (**طبقات سترامبرغ Stramberg**)، وجبال البيرينيه وفي اسبانيا (سحن كابرا Cabra الحمراء) وفي الشمال الافريقي (أقواص أو هضاب الجنوب الوهراني والأطلس المغربي)، وفي السلاسل الآسيوية (**طبقات Spiti** في هيمالايا)[1].

أ ــ جوراسي الجيوسنكلينال الدوفيني (سلاسل تحت الألب sub-alpines والكتل الجبلية المتبلورة). ويكون هذا الجوراسي منتشراً بشكل خاص على طول الكتل الجبلية المتبلورة والذي يشكل فيها الغطاء الرسوبي. ويمكن دراسته بشكل طيب في المنخفض الطويل الذي يواكب هذه الكتل ابتداءً من سالّانش Sallanches حتى غاب Gap، والذي يشكل «أخدود ما تحت الألب sillon subalpin». ويكون الجوراسي في كل هذا النطاق ثخيناً للغاية ورتيباً وملتوياً بشدة، ولكنه يظل دائماً فقيراً بالمستحاثات (بلمنيتات نادرة وآمونيات). ومن الممكن أحياناً تمييز ريتي ذي سحنة صوآبية. ويأتي

(١) في الطونكين وفي يونّـان يقدم الريتي سحنة قارية وتضم مكامن فحم حجري هامة.

من فوق ذلك اللياس الصرف، ذو سحنة دوفينية وصبغة قاتمة، تضم، في قاعدتها، اللياس الكلسي (هيتانجي، سينيموري، شارموتي أسفل)، ونجد في القمة اللياس الشيستي. وتبلغ سماكة هذا المجموع حوالي ألف متر تقريباً. ويكون الباجوسي مؤلفاً من صخور كلسية سوداء، ثم تأتي صخور الشيست ذات Posydonomyes الشديدة السماكة والمقابلة للباتوني وللكاللوفي ــ الأوكسفوردي (**الأراضي السوداء** في جبال الألب السفلى). وابتداءً من اللوزيتاني تتخذ الصخور صبغة فاتحة أكثر تدريجياً، كما أنها تصبح أيضاً كلسية أكثر حتى التيتوني المتميز بسافاته الكلسية الفاتحة الجيدة التطبق (شرفة تيتونيــة) وبوحــيشه من الأمونيـــات (**Oppelia** و **Hoplites** و **Perisphinctes**) المختلطة مع تيريبراتولا Térebratules مثقوبة (Pygopes).

ولنضف إلى ذلك أنه كانت تعوم محلياً، في المقعر الدوفيني، جزر صغيرة، هي بقايا من السلسلة الفنديليسية Vindélicienne. ففي الجنـوب تلك هي **قبـة المور Mure**، وفي الشمال، في السافوا العليا وفي سويسرا نجد **القبـة الهلفيسيـة**، الأكثر اتساعاً بكثير، والتي كانت تعوم من الجيوسنكلينال الفاليزي (نسبة إلى إقليم فاليه Valais)، والذي هو الامتداد الشمالي للمقعر الدوفيني والذي ترقد فوقه بصورة طاغية الرسوبات اللياسية أو رسوبات دوغّـر.

وفي اتجاه الغرب يتطابق تخم السحن الدوفينية للجوراسي الأعلى مع حدود جبال الجورا (شكل ٢٧٠). ولا يمكن أن يكون في هذا المجال تردد إلّا في منطقة غرينوبل حيث تأخذ أواخر سليسلات الجورا الجنوبية في الاتكاء على سليسلات ما تحت الألبية، وبينما تظهر في الأولى سحنة إيشايّـون Echaillon الرصيفية والمرحلة البوربكية الختامية، تسود في الثانية السحن العميقة ذات رأسيات الأرجل (تيتوني) التي تكون في حالة استمرارية مع الكريتاسي (شكل ٢٨٠).

ويتمدد الجوراسي الدوفيني، باتجاه الجنوب، حتى في منطقة غاب Gap. ولكن اللياسي يعرض مؤثرات ساحلية صرفة بجوار سيسترون ودينيه Digne وكاستللان حيث سبقت دراسته منذ عهد قريب على يد هوغ E.Haug.

وإلى الجنوب من ذلك ينعكس أثر كتلة جبال مور ـ استيريل Maures-estérel على طبيعة توضعات الجوراسي ويتخذ اللياس سحنة دولوميتية وقليلة العمق (نيريتية) في حين تعود بقية الجوراسي لتصبح رصيفية أو دولوميتية (**الصخور الكلسية البيضاء** في البروفانس Provence)، وينتهي تماماً، كما في الجورا، بمرحلة أجاجية وبحيرية (بوربكّي) (شكل ٢٧٠).

ب ـ جوراسي نطاق البريانسونّيه: وهو الذي توضّع فوق الكورديللير البريانسوني. ويتميز بقلة ثخانته وبثغراته. وقد تمت الإشارة لوجود الريتي ذي **Avicula contorta** محلياً (ضواحي بريانسون) ضمن استمرارية مع الترياس.

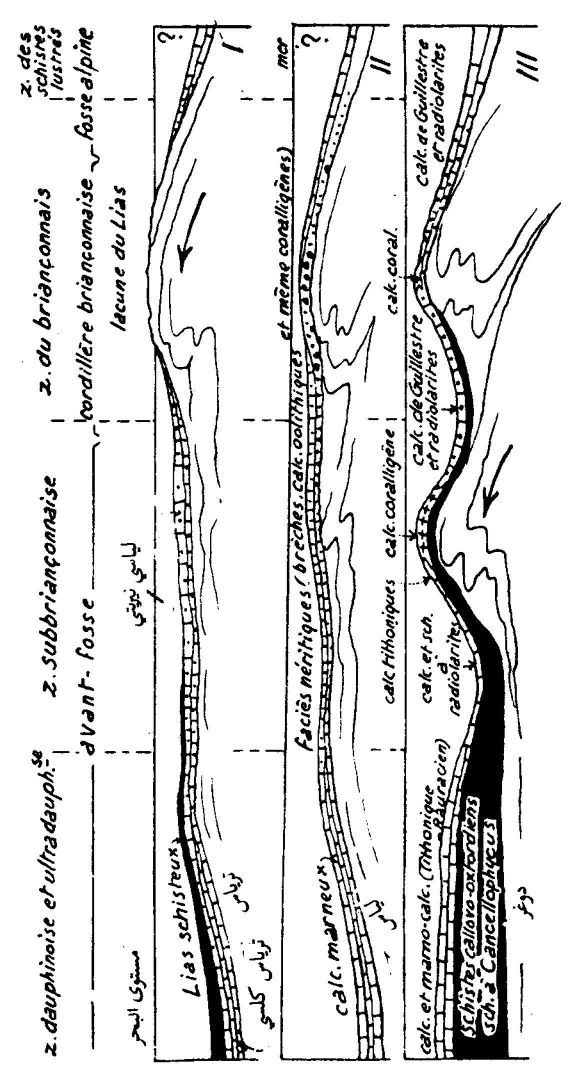
ويبدو اللياس مفقوداً (ثغرة ناجمة عن عوم الكورديللير) ويبدأ الجوراسي ببريشات وبصخور كلسية بحرية ضحلة «نيريتية» (**Mytilus**، **Rhynchonelles**، Nérinées) وسرئية والتي تمثل الدوغّر (سحنة يطلق عليها إسم **Dogger à Mytilus**، والتي نعثر عليها في مقدمات الألب).

وفوق ذلك تأتي، بعد ثغرة الكاللوفي ـ الأوكسفوردي التي تعرف بسحن حمراء سيديروليتية، تأتي صخور كلسية لوزاتية الشكل حمراء (مرمر غيللستر Guillestre) ذات آمونيات آرغوفية، ثم تأتي صخور كلسية ذات شعاعيات و Calpionellers تمثل التيتوني Tithonique.

جـ ـ جوراسي نطاق البييمونت: ويكون ممثلاً من قبيل الاحتمال، ضمن المعقد الملقب بمركب «الشيست اللمّاع»، وذلك بواسطة كالكشيست متحول شديد الثخانة ومختلط بصخور اندفاعية أساسية (صخور خضراء). وتشهد بعض طبقات البريش المتناوبة في هذا المعقد عن وجود عابر لسلاسل (كورديللير) ثانوية في هذه الحفرة الألبية الكبرى.

وظل الجيولوجيون ولمدة طويلة لا يعرفون عن الجوراسي الألبي سوى المخطط المبسط الذي قدمناه قبل قليل والذي كان يجنح إلى أن نفترض أن هذه النطاقات السحنية كانت شديدة المفارقات فيما بينها ومستقلة بصورة متفاوتة. وفي الواقع

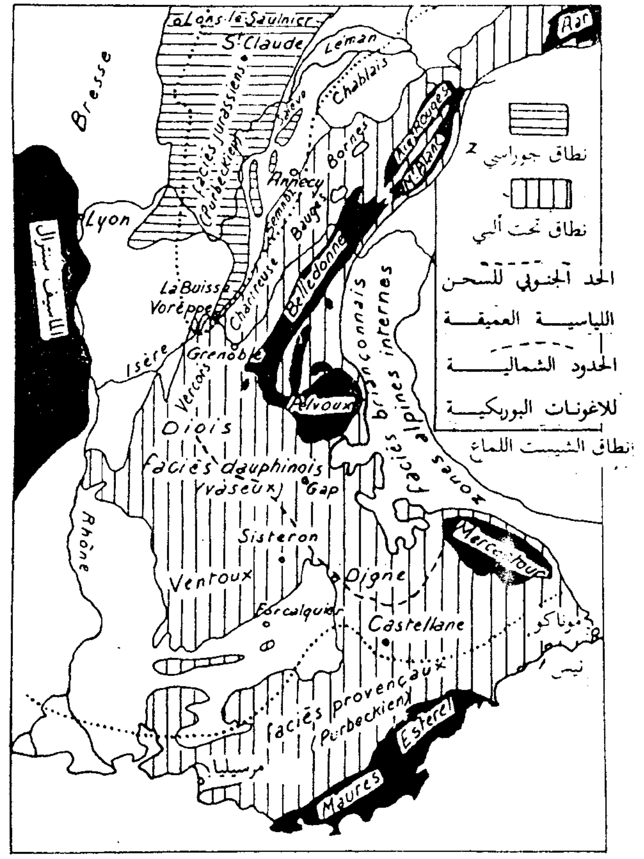
أظهرت الأبحاث الحديثة التي قام بها جيولوجيو غرينوبل أن هناك نوعاً من التضامن فيما بينها . وأن من الممكن البرهنة على وجود مراحل انتقالية . وهكذا يوجد ، في مقدمة



شكل ٢٦٩ ــ **توزع سحن الجوراسي في الجيوسنكلينال الألبي** . I ، لياس . II ، جوراسي أوسط . III ، جوراسي أعلى .

النطاق البريانسوني ، نطاق شبه بريانسوني تشترك فيه سحن الجوراسي مع سحن النطاق الدوفيني والنطاق البريانسوني . وكذلك أمكنت ملاحظة انتقال تدريجي بين

سحن البريانسوني المتحولة قليلاً أو كثيراً والسحن العالية التحول في نطاق صخور الشيست اللماعة .

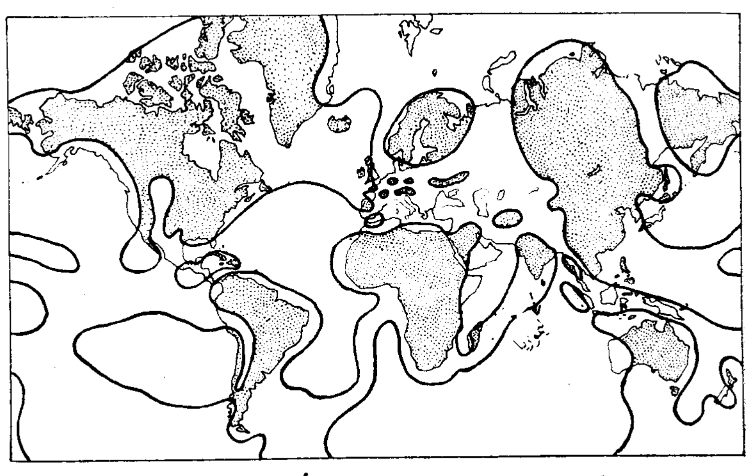


شكل ٢٧٠ — **توزع سحن الجوراسي وعلى الأخص سحن اللاغونات البوربكية في جبال الألب الفرنسية.** ويختلط التخم الشمالي للاغونات البوربكية ، في منطقة البروفانس، تقريباً مع التخم الجنوبي للسحن العميقة خلال الجوراسي الأعلى والأوسط ومع تخم « صخور الكلس البيضاء » في البروفانس في الجوراسي الأعلى .

ففي إقليم موريان (سافوا) ، وضمن كتلة آنكومبر Encombres وكتلة بادوروك (دراسات Barbier) وفي منطقة تغطيات recouvrements منطقة Embrunais-Ubaye (مواقــــع Piolit و Chabrières و Morgon) (دراسات Y.Gubler Wahl و M.Gignoux و L.Moret و D.Schneegans) أقول في المناطق السالفة الذكر يمكن دراسة النطاق شبه البريانسوني . ففوق الصخور المحاريّة Lumachelles ذات Avicules

والمنسوبة للريتي يأتي لياس ساحلي ضئيل، ولكنه كامل لوجود الصخور الكلسية ذات غريفيه Gryphées والصوان والشيست ذي الأمونيات. ومن ثم يكون الدوغّر ممثلاً بصخور كلسية بحرية ضحلة (نيريتية) وسرئية، وبريش، وشيست ذي Cancellophycus (دوغّر ملقب بذي **كونسلوفيكرس** في جبال مقدمة الألب Préalpes).

ويبدأ المالم بطبقة الكاللوفي ــ الأوكسفوردي السوداء والشيستية، ثم تأتي طبقات معقدة مع بريشات وصخور كلسية ذات **Aptychus** وشعاعيات، والتي تمثل التيتوني الذي يكون في حالة استمرارية مع الكريتاسي. وتشتمل منطقة آمبرونيه ــ أوبايي Embrunais-Ubaye على تعاقب من حراشف متنضدة أمكن التعرف في كل منها على زمرة جوراسية يمكن التعرف فيها على تبدلات السحنة تدريجياً بدءاً من أكثرها انخفاضاً (مع صلات نسب لا تزال دوفينية وماواء الدوفينية) حتى أكثرها ارتفاعاً التي تكون هي الأكثر نسباً بالبريانسونّيه.



شكل ٢٧١ ــ **العالم في الجوراسي الأعلى** (ريمون فورون).

وسنجد في أغشية جرف في مقدمة الألب، وعلى الخصوص في أغشية Chablais، في منطقة السافوا العليا، سنجد سحناً من الجوراسي مماثلة للسحن، التي أتينا قبل قليل على وصفها في نطاقي شبه البريانسوني والبريانسوني (ريتي، لياس ذو

ثغرات، وبجري ضحل «نيريتي» دوغّـر ذو **Cancellophycurs** وذو **Mytilus**، آرغوفي أحمر مماثل لمرمر غيللستر Guillestre ... إلخ) وتكشف عن التبدلات التدريجيـة في مختلف الوحدات المتنضدة، كما هو الحال بالنسبة لأغشية آمبرونيه ــ أوبائي. ذلك هو أحد الأسباب التي تنافح لمصلحة أطروحة الأصل البريانسوني لجبال البريئالب.

د ــ جوراسي جبال البيرينيه: يغلب على الظن أن النطاق الباليئوزوئيكي المحوري كان عائماً خلال كل الجوراسي. وفي الواقع نصادف بعض صخور اللياس ودوغّـر على السفحين الحاليين لهذا النطاق. وإجمالاً يكون اللياس، الذي يبدأ بالريتي Rhétien، كاملاً؛ أي كلسياً في قاعدته، وشيستياً في القمة، كما في جبال الألب. ولكن إذا كانت السحن الكلسية ــ الشيستية ذات الأمونيات قد استمرت خلال الدوغّـر، في الغرب، وفي وسط جبـال البيرينيـه وشرقيها، فإن صخـور الدولوميـا السوداء، الخالية تقريباً من المستحاثات، هي التي كانت تتوضّـع. ويكون الجوراسي الأعلى قليل الانتشار في جبال البيرينيه ويغلب على الظن أن السلسلة كانت في معظمها عائمة في ذلك العصر. ولن تتعرض للتغطية بالبحر من جديد إلا بدءاً من الكريتاسي الأسفل (انظر ص ٥٦٥).

وعلى كل حال تسمح أبحاث حديثة بالتأكيد على وجود الجوراسي الأعلى في البيرينيه الشرقية والوسطى الفرنسية على شكل سحن بورتلاندية وحتى بوربـكّية. وسيكون الوضع كذلك في أكيتانيا حيث صادفت أعمال السبر في حقل بارانتيس Parentis البوربكي في الأعماق.

ويعتقد الآن أن اللاغونات البوربكية الكلاسيكية في الجورا قد تطـاولت، بواسطة الحافة الشرقية للكتلة المركزية، حتى إقليم البروفانس، من ناحية، حيث يعتقد أنها كانت تبلغ منطقة مانتون Menton، من ناحية أخرى، باتجاه الغـرب، حيث كانت تستطيع الإتصال بأكيتانيا عن طريق السفح الشمالي لجبال البيرينيه [1].

(1) M. Casteras, J. Cuvillier, M. Arnould, P.F. Burollet, B. Clavier, P. Dufaure, Sur **la présence du Jurassique supérieur et du Néocomien dans les Pyrénées orientales et centrales françaises** (Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, t. 92, 1957).

→

J. Curutchet, A.F. Farando, M.F. Vigneaux, R.P. Walters, **La découverte du champ de Parentis dans le Sud-Ouest de la France** (Proceed. fourth World Petroleum Congress, sect. I/A3, reprint 4, Rome, 1955).

P. Donze, **Les couches de passage du Jurassique au Crétacé dans le Jura français et sur les pourtours de la «fosse vocontienne»** (Thèse Sc. Lyon, 1956).

L. Moret, Existait-il une communication, vers la fin du Jurassique, entre les lagunes purbeckiennes du Jura et celles, récemment mises en évidence, dans les régions provençales? (C.R. Acad. Sc. Paris, t. 246, p. 1342, 3 mars 1958).

الفصل الثامن

الأراضي الكريتاسية

١ ــ صفات عامة

إن الذي منح هذه الأراضي اسمها هو الوجود المتواتر لصخر معروف جيداً، هو الحوّار (**Chalk** بالانكليزية و **Kreide** بالألمانية). ولكن، وفي الحقيقة، لا نعثر على هذا الصخر إلا في القسم العلوي من الكريتاسي، إذ توجد رزمة كاملة من طبقات كريتاسية تابعة لا تحوي ضمنها على الحوار، مما أدى لأول تقسيم إلى **كريتاسي أسفل** (بدون حوار) **وكريتاسي أعلى** (مع حوار).

ويكون التخم العلوي دائماً ملحوظاً جيداً بانحسار وبثغرة ترسب، وكذلك الوضع في التخم السفلي، في القسم الأعظم من أوروبا الذي يتميز بالعوم البوربكي. ولكن نجد في كثير من مناطق أخرى أن الانتقال يكون مستمراً من الجوراسي إلى الكريتاسي ويتم بسحن بحرية (تيتوني)، بحيث لا يكون الفصل بين المجموعين قائماً بيقين إلّا بدراسة مستحاثات النطاقات[1]، وقد كانت الأمونيات، هنا هدفاً لأبحاث تقليدية قام بها و. كيليان W.Kilian ومعاونوه.

(١) ولكن يستمر النظام القاري للجوراسي، في الولايات المتحدة وفي كندا، خلال الكريتاسي (صخر رملي وغضاريات، رمال ذات نباتات، فحم ليغنيت). ولن يبدأ الطغيان البحري القادم من الجنوب في هذه المناطق إلا في الكريتاسي الأعلى.

ويتم تقسيم الكريتاسي، فرعياً، حسب الطريقة التالية:

١ً ــ كريتاسي أعلى

داني: صخر كلسي ذو بروبات حيوانية في الدانمارك.

سينوني: حوار سنس Sens (جنوب باريس) الأبيض.

آتوري (آدور)	**مايستريخي** (حوار طفي نسبة إلى Maestricht في هولندا، ذو مستحاثة **Belemnitella mucronata**) كامباني (حوار شمبانيا الأبيض، قرب بلدة كونياك، ذو **Belemnitella quadrata**)
ايمشيري (Emher)	**سانتوني** (حوار سانتونج ذو **Micraster coranguinum**) (Emher) **كونياسي** (حوار كونياك ذو **Micraster Cortestudinarium**)

توروني: حوار طفّي لمنطقة تورين (حوار مارني)

سينوماني: رمال مين Maine (حوار غلوكوني)

٢ً ــ كريتاسي أسفل

آلبي Albien: رمال خضراء غلوكونية وغضاريات زرقاء لمنطقة Aube (شرق باريس) ويقابل غولت Gault في انكلترا.

آبتي: مارنيات كلسية ذات رأسيات الأرجل لمنطقة Apt في جنوب شرق فرنسا.

بارّيمي: كلس مارني ذو آمونيات لمنطقة Barrème (جبال الألب السفلى)

هوتريفي: مارنيات كلسية لمنطقة Hauterive قرب نوشاتل في غرب سويسرا

فالانجيني: مارنيات كلسية لمنطقة Valangin قرب نوشاتل في غرب سويسرا

ملاحظة: قد يندمج هذان الطابقان الأخيران أحياناً تحت اسم **نيوكومي**.

أما من وجهة النظر إلى علم المستحاثات، فقد اكتسب النبيت الكريتاسي الصفات الحالية، ويتميز عن نبيت الجوراسي بتألق وانتشار كاسيات البذور (أحاديات الفلقة وثنائيات الفلقة). ولكن كانت لا تزال حينئذ الكثيرات من عاريات البذور (Coniférales و Bennettitales، وقد تلاشت الأخيرة خلال الكريتاسي الأدنى). ويكون الوحيش متميزاً بشدة انتشار مجموعة الروديست Rudistes البّناءة، والمنخربات الكبرى (Orbitolines، Orbitoïdes) والإسفنجيات السيليسية والكلسية. وقد

استمرت الأمونيات[1] خلال الكريتاسي الأسفل، ولكنها تناقصت بكل وضوح بدءاً من الكريتاسي الأعلى، حيث تلاشت خلاله، ولننـّوه بأن الأشكال المبسوطة تكون فيه وفيرة. وقد امتد الأجل بشكلين باليئوزوئيكيين من أشباه الزنبقانيات بشكل مستغرب وهما: **Marsupites** و **Uintacrinus**. أما لدى الآخينوسات Oursins فإن اللامنتظمات هي التي تفوقت على المنتظمات **Réguliers**، بل وهنـاك الكثير من اللامنتظمات تكون حتـى خاصة بالكريتـاسي (**Hemipneustes**، **Echinoconus**، **Echinocorys**... إلخ) وهناك جنسان من صفيحيات الخياشيم عديدان بشكل خاص وهما: **Spondylus** و **inoceramus**.

ونذكـر من بين الفقاريـات كمميـزات للكريتـاسي، سمكـــة **Ptychodus**، والزواحـف Mosasauriens (ثعبانيـات الشكـل)، وبعض الزواحـــف العملاقـــة الدينوصوريات **(iguanodons)** وأخيراً الطيـور اللبونـة ذات الأسنـان (**ichthyorni** و **Hesperornis**).

أما من وجهة النظر الجغرافية القديمة (شكل ٢٧٢)، فإننا سنعثر في الكريتاسي على الملامح الكبرى للعصر السابق، أي التضاد بين المنطقة الميزوجيئية الألبية (وحفراته الجيوسنكلينالية) والمنطقة شبه القارية الهيرسينية، المغـطّـاة بشكل متفاوت بالطغيانات البحرية القادمة من الشمال (حوض شمالي)، ولكن لا سيما من الجنوب والتـي ستتخذ على العموم النمط الفوقاري épicontinental. وهكذا وبعد الانحسار الـذي اتصف به الجوراسي الأعلى في حوض باريس عاد البحر من الجنوب، بدءاً من الكريتاسي، عن طريق مضيق كوت دور (لأن مضيق بواتو قد أغلق منذ البورتلاندي، ولن يستأنف انفتاحه إلّا في السينوماني). وابتداءً من هذه الفترة لن يتوقف الطغيان نحو الشمال عن الاستفحال، كي يبلغ أوجه في الكريتاسي الأعلى في عصر الحوار الذي يمثل أوسع طغيان والأكثر شمولاً في كل الأزمنة الجيولوجيـة [2]. ففـي خلال

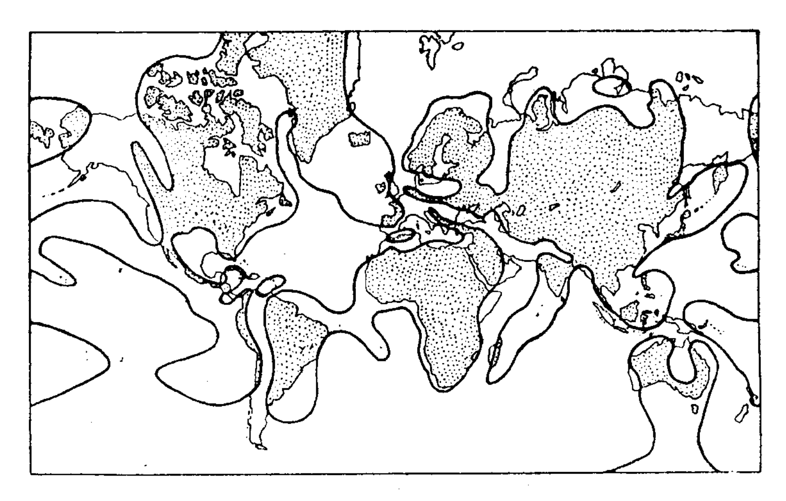
---

(١) أما بالنسبة لنطاقات الأمونيات المميزة للكريتاسي، (انظر سابقاً ص ٣٧٢).

(٢) وهذا الطغيان الكبير، كما سبق ورأينـا، هو الـذي يؤلـف أصل فرضيـة «الحركات الأوستاتيـة eustatiques» لدى العالم سويس.

الكريتاسي الأعلى (سينوماني) اجتاح البحر الأبيض المتوسط قلب القارة الإفريقية (وهو مالم يفعله منذ الحقب الأول ولن يفعله أبداً) وفصل، جزئياً، هذه القارة عن القارة الأمريكية (البرازيل) في حين تقدم بحر الشمال في انكلترا حتى إيرلندا وإيقوسيا. وأخيراً استمرت قارة غوندوانا، في نصف الكرة الجنوبي، بالتفكك، وابتداءً من الكريتاسي الأسفل نشأ ذراع بحري، متفرع عن بحر الميزوجيه، ليفصل افريقيا عن أمريكا الجنوبية، واستفحل هذا التجزؤ أيضاً في الكريتاسي الأعلى الذي غمر حافة الرقع القارية.

أما الأقاليم الوحيشية التي سبق لها أن تفردت خلال الجوراسي، فقد استمرت



شكل ٢٧٢ ـ العالم في الكريتاسي الأدنى (ر. فورون).

خلال الكريتاسي: فكان هناك إقليم شمالي بارد في الشمال، متميز بصفيحيات الخياشيم ذاتها (Aucelles) وبيلمنيتات خاصة (**Cylindrotheutis**)، وإقليم متوسطي (رومي) مداري، حيث ازدهرت المدخات والروديست Rudistes، والأوربيتولين والبيلمنيتات المبسطة (**Duvalia**)، وأخيراً هناك إقليم بارد ثالث، متناظر مع الإقليم الشمالي، كان يميز المناطق الجنوبية الواقعة إلى الجنوب من السابقة. ويكون التاريخ الستراتيغرافي للكريتاسي، في معظمه هو تاريخ تجاوزات هذه الأقاليم المناخية على

المناطق الحدية ومؤثراتها على توزع الوحيشات (مثال، ظهور وحيشات رومية ذات Rudistes، Orbitolines أو Orebitoïdes في الحوض الباريسي).

وإذا كانت الفترات الترياسية والجوراسية فترات هدوء نسبياً فليس من الممكن قول الشيء ذاته عن الكريتاسي، وهذا ما تؤيده الطغيانات العديدة والانحسارات التي لم نورد سوى أكثرها أهمية. ويجب أن نرى في ذلك الاشارات المنذرة بالحركات الأوروجينية الكبرى التي ستعمل في الكريتاسي على بلبلة الجغرافيا الكريتاسية في فترة انبثاق السلاسل الألبية الكبرى.

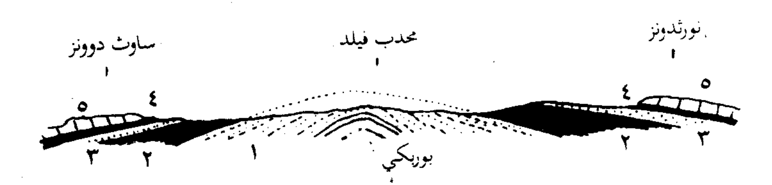
٢ ــ التوزع الجغرافي للكريتاسي الأسفل

أ ــ انكلترا. بولونّيه، هانوفر وروسيا (سحنة فيلدية وسحنة شمالية)

أ ــ السحنة الفيلدية wealdien أو الأجاجية في الكريتاسي: فيلد weald هي منطقة محدبة (آنتيكلينالية) منخفضة في جنوب انكلترا (وتتمدد في فرنسا في منطقة بولونّيه) تقع تحت هيمنة جرفين من الحوار: في الشمال الشرقي تقع مناطق نورثدون Northdowns، وتقع مناطق ساوثدون Southdowns في الجنوب الغربي (شكل ٢٧٣). ويتكشف في محور هذه العروة boutonnière الكريتاسي الأسفل الذي يرقد فوق البوربكي. ويتألف هذا الكريتاسي من صخور طرية ذات سحنة قارية أو أجاجية تمثل الفالانجي والهوتريفي والبارّيمي. ونجد في القاعدة **«غضاريات فيلد»** مع مستحاثات Paludines و Cyclas و Unios و Cyrènes والزواحف الكبرى (iguanodons) ونباتات. ويتمدد الفيلدي في إقليم بولونّيه الفرنسي. وهو الذي قدّم، نتيجة إملائه شقوق التشكلات الكاربونيفيرية في الحوض الفرنسي ــ البلجيكي، أقول قدّم في وادي برنيسّار Bernissart الهياكل الرائعة لحيوانات إيغوانودون iguanodons (شكل ٢٧٤).

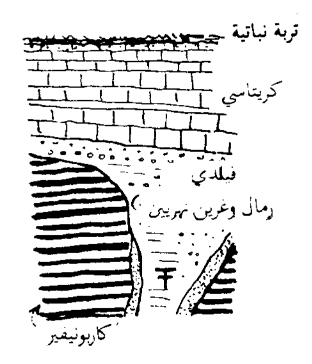
ويأتي، من فوق الفيلدي، الآبتي والذي يشير، في انكلترا وفي إقليم بولونّيه، إلى قدوم البحر الزاحف من الجنوب. تلك هي رمال غلوكونية (**Lower greensands**) أو صفراء ذات قواقع بحرية (Trigonies، محارات، Panopées). ثم يأتي الألبي **Albien** الذي يتمثل جيداً بغضاريات زرقاء سميكة (غضاريات غولت Gault) غنية للغاية بمستحاثات محفوظة مع صدفاتها (مكامن تقليدية في جدران فولكستون الساحلية وكذلك في جروف wissant على الساحل الفرنسي). ويكون هذا الألبي طغيانياً ويغطي الجوراسي مباشرة فوق حافة مرتفعات الباليئوزوئيكي الانكليزية (رمال ذات إسفنجيات كلسية في مكمن Farringdon).

السحنة الشمالية: سنعثر في الكريتاسي في شمال أوروبا، كما عثرنا في الجوراسي، على مؤثرات وحيشية لبحر شمالي والذي سيعمل على تغطية الحافة الشمالية لقارة شمال الأطلنطي وعلى تشكيل ثلاثة خلجان كبرى. ولا تظهر توضّعات هذا البحر، التي تكون حالياً مغطّاة بالمياه الشمالية، لا تظهر في الواقع إلّا في محافظتي comtés يورك ولنكولن (انكلترا) وألمانيا الشمالية وروسيا.



شكل ٢٧٣ ــ **مقطع عرضاني تبسيطي لمحدب فيلد**. ١، رمال هاستيغز. ٢، غضاريات فيلد. ٣، آبتي. ٤، آلبي وسينوماني. ٥، توروني وسينوني.

أما في انكلترا فإن أفضل الانكشافات هي تلك التي تظهر في جروف سبيتون Speeton الساحلية (شكل ٢٦٢) حيث يكون كل الكريتاسي الأدنى ممثلاً بغضاريات تكون وحيشات رأسيات الأرجل الشمالية هي التي تسمح لوحدها بتقسيمات ستراتيغرافية فرعية (**Cylindrotheulis** و **Polyptychites** بالنسبة للنيوكومي، و **Simbirskites** بالنسبة للبارّيمي). ولكن هذه المؤثرات الشمالية توقفت في الآبتي، وهو العصر الذي شهد تحقق الاتصالات مع البحار الجنوبية بواسطة الحوض الباريسي



شكل ٢٧٤ ــ **مقطع وادي برنيستار الحاوي على مكمن حيوانات إيغوانودون الشهير العائد للفيلدي البلجيكي** (عن فان دن بروك Broeck).

وفي ألمانيا، وفي إقليم هانوفر (تلال هيلس Hils) يكون البوربكي مغطًّى أولاً برمال فيلدية ذات نباتات و iguanodons، ثم تأتي غضاريات هيلس، والتي يمكن موازنتها بغضاريات Speeton وتضم وحيشاً غنياً من أمونيات يشير إلى مجموع فالانجي ــ آبتي.

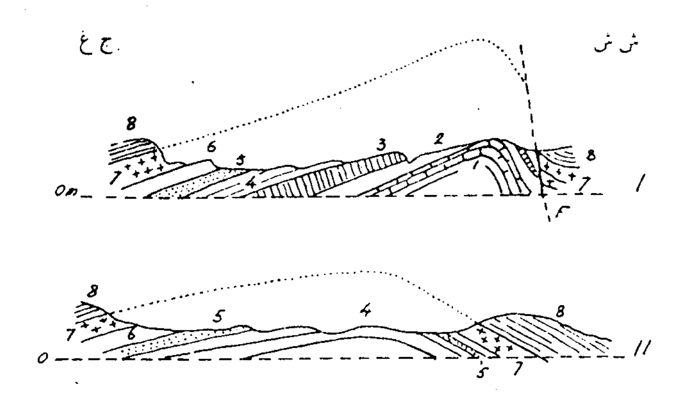
وفي روسيا تقع أكثر الانكشافات أهمية من الخليج الكريتاسي في مناطق بتشورا وموسكو وسيمبيرسك. وتكون بالبداية عبارة عن صخور حث فوسفاتية (فالانجي)، ومن ثم تأتي، بعد ثغرة في الهوتريفي، الغضاريات السوداء الشهيرة لمنطقة سيمبيرسك الغنية بمستحاثات **Simbirskites** (باريمي). ولكن وهنا أيضاً تتغير السحن في الآبتي (ظهور **Hoplites**) وينغلق الخليج الروسي في الشمال ولا يحتفظ باتصالاته إلّا مع الجنوب.

ب ــ حوض باريس وجورا (سحن قارية وساحلية)

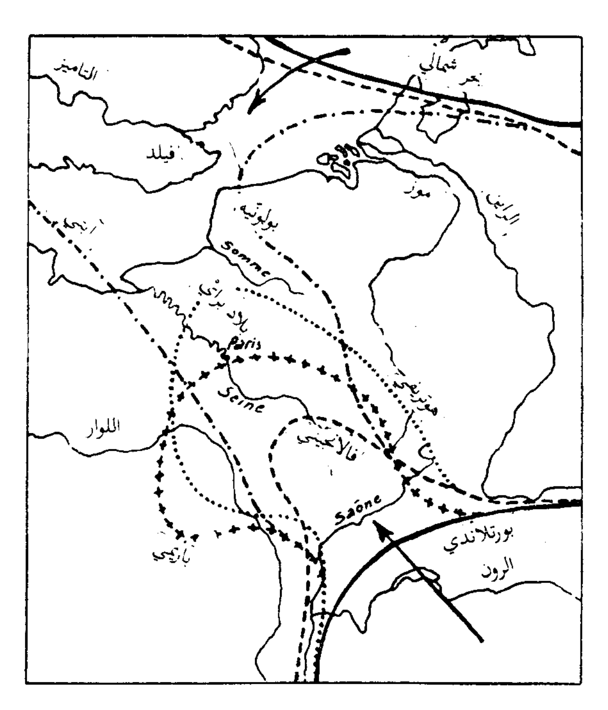
أ ــ **حوض باريس**: إن أكثر الانكشافات أهمية هي تلك التي تشكل الحافة الجنوبية الشرقية من الحوض حيث ترسم هالة طويلة، من الشمال إلى الجنوب، ابتداءً من هيرسون Hirson حتى الماسيف سنترال (شكل ٢٦٣). وقد حدث الطغيان البحري من خلال المضيق المورفاني ــ الفوجي ونحو الشمال الغربي، إذن ستظهر في اتجاه الجنوب الشرقي أقدم الرسوبات الكريتاسية لذلك العصر، أما في المناطق الأخرى فسنصادف سحناً قارية. ويقع القسم الأوسط من الذراع البحري الطاغي المذكور في منطقة أوب Aube. وهنا توجد زمرة بحرية كاملة تضم، في قاعدتها، **صخوراً كلسية**

بيضاء حيوانية المنشأ Zoogènes تمثل الفالانجي ، ثم تأتي **الصخور المارنية ذات Spatangues** الهوتريفية ، ثم **الغضاريات الأوستريئية Ostréennes وطبقة** فاسّي Vassy **الحمراء** العائدة للباريمي ، والمارنيات ذات Pliactules و Oppelia العائدة للآبتي ، وأخيراً الرمال الخضراء وغضاريات غولت Gault (آلبي Albien) .

وكانت سواحل هذا الذراع البحري واقعة ، في الشمال الشرقي ، في ضواحي Vassy وحتى Revigny و Rethel ، وفي الجنوب الغربي في منطقتي Nièvre و Cher . ويكون الفالانجيني قارياً بين Vassy و Revigny وتمثله رمال وغضاريات سوداء ذات هياكل عظمية لسلاحف مثلما يتمثل الباريمي بفلز Vassy الحديدي ذي الوحيش البحيري . وإلى الشمال من Revigny يكون الآلبي (رمال خضراء ذات **كوكينات Coquins** فوسفاتية وغضاريات غولت Gault) طغيانياً . أما في منطقة ريتل Rethel ، فتنتشر فيه ، وذلك على حساب غضاريات غولت ، سحنة خاصة من **غيز gaize** (وهو حث حاوٍ على الأوبال opalifère غني بشوكات الإسفنج) والتي تتخذ أهمية كبرى في منطقتي آرغون والآردين والتي تتجاوز فوق الكريتاسي الأعلى (آلبي أعلى ــ سينوماني أسفل) .



شكل ٢٧٥ ــ **مقطعان لمحدب بلاد براي Bray** (آ . دولابـاران) . I ، مقطع يمر من Hauvoile . II ، الختام الجنوبي الشرقي للمحدب . ١ ، كيميرجي . ٢ ، بورتلاندي أسفل . ٣ ، بورتلاندي أعلى . ٤ ، فالانجيني ــ باريمي . ٥ ، آبتي . ٦ ، آلبي وغيز Gaise . ٧ ، سينوماني وتوروني . ٨ ، سينوني .

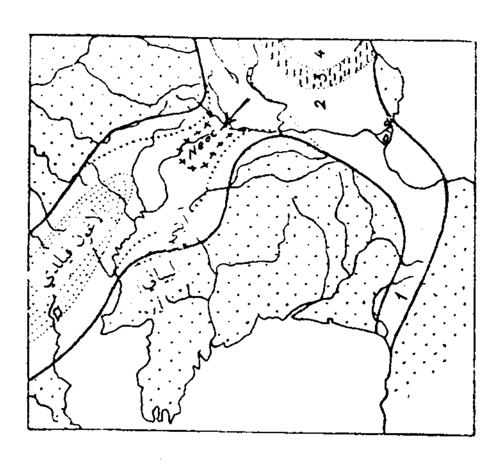


شكل ٢٧٦ ــ **الطغيانات البحرية في الحوض الباريسي خلال الكريتاسي الأدنى** (مخطط مبسط استغلت فيه دراسات ج. Corroy). تشير السهام إلى اتجاه الطغيانات، وفي الشمال لم تتغير حدود البحرين الهوتريفي والبارّيمي بصورة محسوسة منذ الفالانجيني.

وفي إقليم شير Cher تفقد كل طوابق الكريتاسي الأسفل ثخانتها باتجاه الجنوب الغربي وتتخذ سحنة الغضاريات المرقشة القارية، وهي تشكلات نعثر عليها في بلاد براي Bray (شكل ٢٧٥). ويظل الآلبي بحرياً ولكنه يتعرض للاجتياح من جانب سحن رملية ساحلية (رمال بويزاي Puisaye). واختصاراً نقول أن الخليج البحري الذي رسم رأساً بسيطاً باتجاه إقليم يون Yonne ونحو الجنوب وشمال شرق منطقة أوب Aube ومنطقة المارن الأعلى (شكل ٢٧٦ و ٢٧٧) قد توسع خلال الهوتريفي (أقصى الطغيان) وبلغ بلاد براي. ثم استضاق عرض الخليج في البارّيمي الأعلى، ولكن بدءاً من الآبتي، استقرت الاتصالات بين البحر الانكليزي وبين البحر الباريسي، وسيستمر هذا النظام خلال كل الآلبي.

ولنضف إلى ذلك أن الآلبي هو طابق مفيد جداً على الصعيد الاقتصادي.

فهو يتألف في معظمه من رمال منفذة يتّخذ وضع حوضة بين التشكيلات المارنية الكتيمة، ويلعب دور خزان لمياه التسرب، التي تمكث فيه تحت ضغط ويمكن الوصول إليها بالآبار الأرتوازية (آبار غرينيل Grenelle على عمق ٦٠٠م تحت باريس) فضلاً عن أن طبقاته تكون أحياناً فوسفاتية.



شكل ٢٧٧ ــ فرنسا خلال الكريتاسي الأسفل. ١، حفرة شمالي البيرينيه. ٢، المقعر الأرضي الدوفيني والحفرة الفوكونتية. ٣، محدب بريانسونّيه العملاق. ٤، المقعر الأرضي البيمونتي. وتظهر المناطق القارية على شكل نقاط متباعدة. ويشير السهم إلى اتجاه الطغيانات النيوكومية في الحوض الباريسي.

ب ــ **الجورا**: ويكون الكريتاسي فيها من نمط ساحلي، ولكن لا يلعب فيها أبداً الدور الهام للجوراسي، لأنه سينكمش فيها على شكل مزق تملئ الميازيب السنكلينالية. ويرقد فوق البوريكي فالانجيني بحري مؤلف من مارنيات ومن صخور كلسية حبابية grumeleux ذات **Toxaster (T.granosus)**. ثم من صخور كلسية عضوية المنشأ organogènes بيضاء تدعى «رخام هجين» مع نيرينات **Nérinées** و Natices ضخمة **(Natica leviathan)**، وأخيراً من صخور كلسية صهباء حديدية سرئية نوعاً ما ذات **Pygurus rostratus** و Rudistes في جبال الجورا الجنوبية (**Valletia** في منطقة Corbelet قرب Chambéry). وتختم مارنيات صفراء ذات بريويات «حزازيات» حيوانية محلياً هذا الطابق بجوار مدينة بونتارلييه **Pontarlier**. ويبتدئ الهوتريفي بمارنيات هوتريف Hauterive ذات Spatanguer (**Toxaster retusus** و **Exogyra Couloni**) وبالنادر من الأمونيات **(Acanthodiscus radiatus)**، والتي تشير هنا إلى الحد الأقصى من العمق في البحر الكريتاسي وينتهي بصخور كلس نوشاتل،

التي تكون أحياناً سرئية وذات صبغة صفراء. ويكون البارّيمي والآبتي ممثلين فيه بصخور كلسية رصيفية بيضاء ومتكتلة مع Rudistes (**Requienia**، **Toucasia**)، يطلق عليها اسم أورغوني Urgonien، منفصلين إلى كتلتين بواسطة صخور كلسية صفراء ذات Ptérocères و Orbitolines (والذي كان يدعى سابقاً الـــروداني Rhodanien نسبة إلى نهر الرون، والذي ينطبق على البارّيمي الأعلى). وأخيراً يختم الآلبي الزمرة وهو عبارة عن رمال غلوكونية طغيانية ذات مستحاثات جميلة وعديدة فوسفاتية، والتي تتألف على الخصوص من Hoplitidés (مكامن تقليدية لمنطقة Perte du Rhône قرب بلدة Bellegarde، وبلدة Sainte Croix في سويسرا).

وفي اتجاه الشمال، باتجاه الفوج، التي كانت شأن الغابة السوداء الألمانية، عائمة خلال الكريتاسي فإن الانكشافات تنعدم، بعد أن انتزعها الحت، مثلما لا يتجاوز الفالانجيني خط سالانبيان Salins-Bienne.

وباتجاه المضيق الميروفاني ــ الفوجي نعثر على أواخر آثار الكريتاسي الأدنى بضواحي مدينة تورنوس Tournus ومن خلال سحنة جورائية Jurassien.

جـ ــ المنطقة الجبلية الألبية الفرنسية (سحن مختلطة وجيوسنكليناليـة «مقعرية أرضية»)

أ ــ السلاسل شبه الألبية الجنوبية (الحفرة الفوكونتية): إلى الجنوب من إقليم Vercors، وفي كل إقليم ديوا Diois لم تكف السحن العميقة عن التفوق خلال كل الجوراسي والكريتاسي. وعلى هذا الخليج الواسع أطلق العالم باكييه V.Paquier، والذي هو ملحق ببحر السلاسل شبه الألبية، اسم الحفرة الفوكونتية (شكل ٢٧٨). ويمنح غياب الصخور الكلسية البيضاء الحيوية المنشأ وهيمنة السحن المارنية لهذه المنطقة مشهدها الخاص وقحولتها (وقد وصفها أحد الجغرافيين «بلاد يوجد فيها من الشحم سوى من العظم»). وقد لا يكون التقسيم الفرعي للطبقات ممكناً فيها إلا بالاستعانة بمستحاثات تكاد تكون حصراً من رأسيات الأرجل

(Duvalia, Desmoceras, Lytoceras, Phylloceras) أو من ثنائية المصراعين العميقة (**Pholadomya**، Pygopes) . ويكون الفالانجيني مؤلفاً هنا ، عند القاعدة ، من صخور كلسية مارنية تنتقل إلى التيتوني Tithonique حاوية على **Hoplites Boissieri** (بـرّيازي Berriasien)[1] ، وفي القمة ، من مارنّيات ثخينة فالانجينية ذات مستحاثات بيريتية Pyriteux . وهناك مارنيات تختلط بسافات كلسية مارنية تمثل الهوتريفي . وتؤلف الصخور الكلسية المارنية القسم الأعظم من الطبقات في البارّيمي ، وتتفسخ هذه الصخور ، التي تكون أحياناً بيريتية ، لتصبح ثنائية اللون . هذا وتكون قاعدة الآبتي كلسية بدورها (Bédoulien)[2] وتضم العديد من **Ancyloceras** في حين أن القسم الأعلى من الطابق يصبح مارنياً (غارغازي)[3] وتشتمل على العديد من الآمونيات البيريتية . وتبدأ بضع سافات حُثّية gréseux وذات كليات (حُث فوق آبتي) بالتناوب ضمن الآلبي المتنضد ، الذي يشكل استمرارية للسحن المارنية ، هذا باستثناء مركز الحفرة ، عند روزان Rosans .

غير أن الحفرة الفوكونتية هذه لم تكن واسعة جداً . ففي الشرق كانت تتاخم المقعر الأرضي الألبي ، ومن الشمال للسلاسل شبه الألبية ، ومن الغرب الماسيف سنترال ، ومن الجنوب للكتل القديمة في منطقة مور ــ استيريل (بين نيس ومرسيليا) .

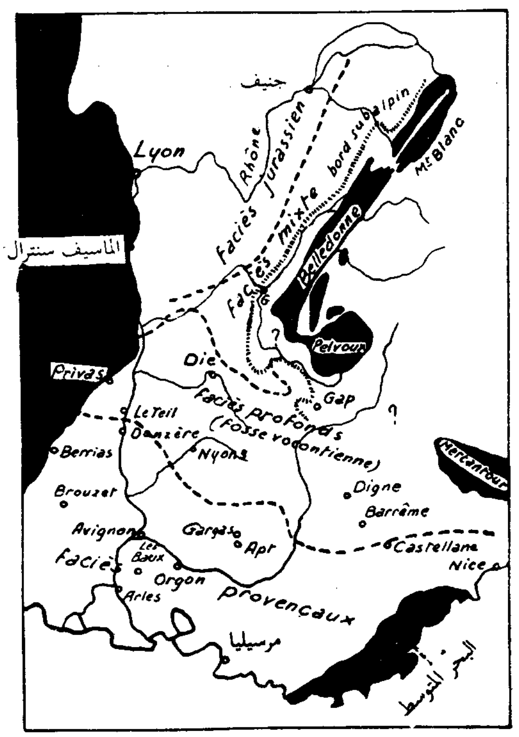
ب ــ سواحل مرتفعات مور ــ استيريل : يترجم اقتراب هذه الكتلة عن نفسه في الزمرة الكريتاسية بظهور سحن ساحلية وبتناقص الثخانة (شكل ٢٧٩) . ففوق الصخور البيضاء الجوراسية ، حيث سبق لنا أن ذكرنا وجود آثار عوم (سحن بوربكية) في القمة ، أقول نجد فوق الصخور المذكورة صخوراً كلسية غلوكونية ، مرصّعة في الجوراسي ، وتكون ذات صوان أو ذات Spatangues تمثل الهوتريفي . ثم يأتي البارّيمي ، وهو غلوكوني وحاوٍ على المستحاثات في الشرق (منطقة نيس) ويتخذ

(١) نسبة إلى مارنيات كلسية بمنطقة Berrias (إقليم ونهر Ardèche وهو أحد روافد نهر الرون) .

(٢) نسبة إلى La Bedoule الواقعة في منطقة دلتا نهر الرون .

(٣) نسبة إلى Gargas (منطقة Vaucluse) .

سحنة أورغونية في الغرب (نمط من طابق ذي Orgon في وادي Durance ، حيث يكتسب سحنة خاصة حوارية كثيراً). ويقدم الآلبي على الدوام سحنة حثية ـــ غلوكونية [1] وفوسفاتية ، باستثناء الذي يكون في منطقة مرسيليا ، حيث يكون شيستياً وتوضّع في « خليج إقليم البروفانس السفلى » ، وفي ضواحي آبت Apt حيث يكون متحولاً إلى رمال وغضاريات حمراء قانية . وقد تولدت هذه المغرات ocres ، المستغلة أحياناً ، عن التفسخ فوق أرض عائمة تنطبق على ما سبقت تسميته **بالبرزخ الدورنسي Durancien** وإلى الجنوب من هذا الشريط الأرضي انتشر الخليج البحري الذي فرغنا من الكلام عنه .



شكل ٢٧٨ ـــ نطاقات السحن في الكريتامي الأسفل في جنوب شرق فرنسا. (G=Grenoble) (عن M.Gignoux)

---

(١) حُث وهو ترجمة لكلمة grès الفرنسية و Sandstone أو الحجر الرملي ولا يجوز الخلط بينها وبين خُث وهي تعريب لفحم التورب Tourbe بالفرنسية أو Peet بالانكليزية .

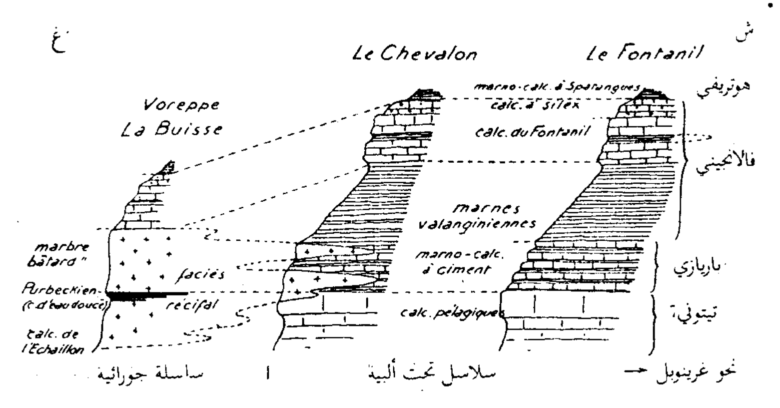
جـ ـ سواحل الماسيف سنترال: وتكون الصخور الكريتاسية هنا مجهولة لأن مزق الكريتاسي الأدنى، التي يعثر عليها على هذه الحاشية الرودانية (نسبة إلى نهر الرون) تقدم فيها سحنة عميقة (مارنيات بيريّـازية وصخور كلسية مارنية المنسوبة إلى Teil). ولكن إذا تقدمنا إلى الجنوب أكثر من ذلك، تعود السحن ساحلية أكثر قرب مونتيليمار، حيث يؤلف الأورغوني فج دونزير الرائع (أبواب البروفانس).



شكل ٢٧٩ ـ **توزع سحن الكريتاسي الأسفل (بارّيمي) في حوض الرون**. يمثل اللون الأسود الأراضي القديمة العائمة، وتمثل الصلبان السحن الأورغونية، أما الخطوط الأفقية فتمثل السحن العميقة، وتمثل الخطوط العمودية السحن البحرية (النيريتية) غير الحيوانية المنشأ. ويمثل اللون الأبيض المناطق التي يكون فيها البارّيمي مختفياً تحت صخور أحدث أو مسحوجاً (أ. هوغ).

د ـ السلاسل شبه الألبية الشمالية (سحن مختلطة): ويلعب الكريتاسي الأسفل فيها دوراً أوروغرافياً شديد الأهمية في كتل Vercors و Chartreuse و Bauges و Bornes (كيلا نتكلم عن جبال الألب الفرنسية) (شكل ١٦٧، II و شكل ٢٨١). وتؤلف الصخور الكلسية المارنية البيريازية استمراراً للتيتوني Tithonique، والتي تشتمل وسطياً على غضار بنسبة ٢٥٪ والذي يستخدم كحجر إسمنت طبيعي في منطقة غرينوبل وحتى شامبيري Chambéry. وتكون صخور الاسمنت الكلسية هذه مغطاة بمارنيات فالانجينية شديدة السماكة، ولكنها فقيرة بالمستحاثات والتي تنتهي بصخور كلسية غليظة مزدوجة اللون وذات صوان تدعى، في منطقة غرينوبل «صخر فونتانيل الكلسي» و «الصخور الكلسية الصهباء». وهناك طبقة غلوكونية

شديدة الغنى بالمستحاثات تشير في كل مكان إلى بداية الهوتريفي، ويستمر الطابق بمارنيـــــات ذات Crioceras Duvali وبمارنيـــــات كلسيـــــة ذات Spatangues (Toxaster retusus). ثم يأتي الأورغوني، الذي يؤلف هنا طبقة كلسية نقية سميكة تنفصل في ثلثها العلوي بالمنبسط الصغير الأسفل، المؤلف من طبقات ذات Orbitolines. وتظهر أحياناً فوق الكتلة الأورغونية العليا (Vercors) طبقة جديدة ذات Orbitolines، أما الطبقة العليا التي نراها تنتقل تدريجياً نحو الجنـوب، باتجاه الحفرة الفوكونتية، تنتقل إلى طبقات تحوي أمونيات آبتية. ونلاحظ في الاتجاه نفسه، أن الطبقة ذات Orbitolines العليا، تندمج في المارنيات الكلسيـة العائـدة للبـارّيمي الأعلى.



شكل ٢٨٠ ــ مخطط لتبدلات سحن الفالانجيني والتيتوني Tithonique في السلاسل شبه الألبيـة، قرب غرينوبل. مقاطع مدروسة في جنوب Chartreuse، على طول الضفة اليسرى لنهر إيزير Isère، ويظل الهوتريفي والأورغوني دونما تغيير.

وقد أصبحت هذه التغيرات في السحنة الآن تقليدية (انظر سابقاً شكل ١٦٩). وأخيراً تنتهي الزمرة بالألبي الطاغي المؤلف من الحجر الكلسي الصدفي lumachelle (لوماشيل غولت) ومن حث (صخر رملي) غلوكوني وفوسفاتي غني جداً بالمستحاثـات والتـي تمت دراستها سابقـاً من جانب CH.Jacob ومؤخـراً من قبـل M.Breistroffer.

وفي اتجاه الغرب، ولا سيما في جوار غرينوبل، تنتقل هذه السحن المختلطة

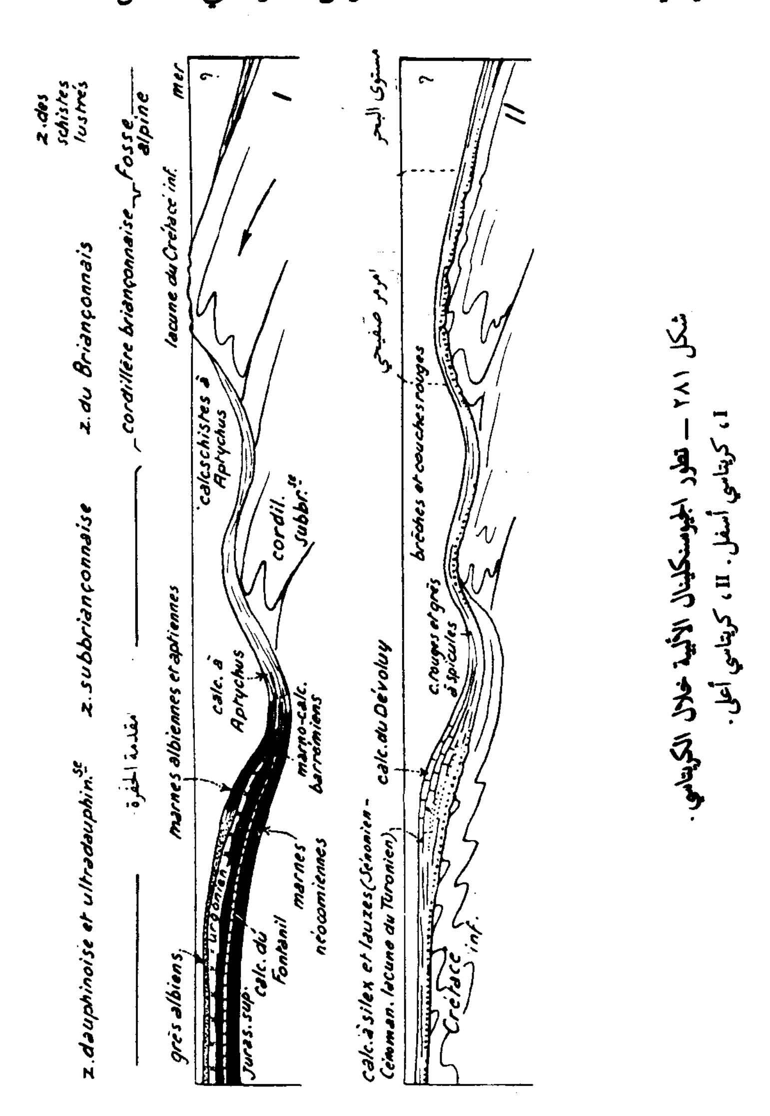
العائدة للكريتاسي الأسفل بصورة غير محسوسة مع تضاؤل سماكتها، إلى سحن نيريتية مرجانية في الجورا الجنوبي، الذي تنتهي آخر سليسلة منه، والمؤلفة من جبل راتز أو من جبل بوإس Buisse، أقول تنتهي عند بلدة Voreppe على الضفة اليمنى لنهر إيزير Isère (شكل ٢٨٠). والفالانجيني هو الذي يتبدل (وكذلك التيتوني Tithoniqye في الوقت ذاته) ويكون الكريتاسي مفصولاً عن الجوراسي بسافات من البوربكي الذي تقع هنا أكثر انكشافاته تقدماً نحو الجنوب (L.Moret).

هـ ــ المناطق الألبية الداخلية (سحن جيوسنكلينالية): لا مجال هنا أبداً للبحث عن شواطئ بحر السلاسل شبه الألبية، لأنه، كلما اتجهنا نحو الشرق، كلما أصبحت سحن الكريتاسي الأسفل عميقة، متخذة سحنة «النيوكومي ذي رأسيات الأرجل» في الأغشية الهلفيتية، أو سحنة صخور الكالكشيست ذات Aptychus (نطاق ما وراء الدوفيني ونطاق شبه البريانسونيه) (شكل ٢٨١، I). وعلى كل حال فإن الاقتراب من الكورديللير البريانسونية، التي كانت عائمة آنئذ، يدلل على نفسه بغتة بثغرة كلية للكريتاسي الأسفل. ولن يظهر هذا من جديد إلّا فوق الحدور talus الشرقي للكورديللير، ولكنه يعود للاندماج في سحن «الشيست اللماع» دون أن يكون من الممكن تفرُّده.

د ــ الكريتاسي الأسفل في مناطق أوروبية أخرى

من المعروف أن هناك كريتاسياً أسفل، ذا سحنة بحرية عميقة (بيلاجية) مع Aptychus وأمونيات في السلاسل الدينارية (وهي مستحاثة Majolica في الألب اللومباردية ومستحاثة Biancone في جبال ألب البندقية) وفي جبال الكربات (طبقات Teschen وطبقات Wernsdorf). ولكن في شبه جزيرة إيبريا على الخصوص ينتشر الكريتاسي وذلك على هيئة سحنة فوقارية épicontinental مع ثغرات وطغيانات، والذي يتوزع حول كتل هيرسينية كانت حينذاك عائمة (محور جبال البيرينيه الباليئوزوئيكي، الكتلة القديمة في قطالونيا ولا سيما المائدة Meseta الإيبيرية).

ولا نستطيع أن نطمح بتقديم تفصيل عن هذا الكريتاسي وسنقتصر على التنويه بأن، في البرتغال؛ أي في منطقة Torres-Vedras يعرض الكريتاسي الأسفل السحنة الفيلدية



شكل ٢٨١ — تطور الجيوسنكلينال الألبية خلال الكريتاسي.
I، كريتاسي أسفل. II، كريتاسي أعلى.

وقـدّم في منطقة Cercal أوائل ذوات الفلقتين الأوروبية. ولننوه أيضاً إلى أن الترسب يكون، في السلاسل تحت البطيقية Sub-bétiques، الواقعة بين الكتلة البطيقية وبين الميزيتا Meseta، يكون بحرياً وقد استغرق، دونما انقطاع، خلال كل الكريتاسي الأدنى

(جيوسنكلينال تحت بطيقي). أما في جبال البيرينيه، فيفتقد الكريتاسي الأسفل جزئياً وتبدأ الزمرة بالآبتي الطاغي، على شكل صخر كلس أورغوني (أورغو — آبتي Urgo-Aptien) في الشرق، وعلى شكل صخور كلسية وحلية في الغرب. ويكون الآلبي في كل الأمكنة مارنياً، أسود وشديد السماكة. وسيكون متبوعاً بمرحلة عوم وبالتواءات تسمى السابقة للسينوماني. وقد كانت هذه الالتواءات، الشديدة الأهمية في جبال البيرينيه، متبوعة بمرحلة حت أدت لتوضع الرصيص في الحفر، وحث، ومارنيات (فليش) خلال كل السينوماني والكريتاسي الأعلى.

هـ ــ الكريتاسي الأسفل في المغرب العربي الكبير

ذاك هو الكريتاسي، الذي خلفه البحر الميزوجيئي فوق الحافة الشمالية لقارة غوندوانا، وفي الإجمال، فإن هذا الكريتاسي يكون فيها مماثلاً لما درسناه فوق الحافة الجنوبية لقارة شمالي الأطلنطي. أما في الأطلس التلي، الذي يتمدد في المغرب بسلاسل الريف، فإن السحن المارنية العميقة ذات الأمونيات البيريتية، القليلة السماكة نسبياً، هي التي توضّعت، والتي تذكرنا بالسحن العميقة في مقدمة الحفرة avant-fosse الألبية وعلى الخصوص العائدة للحفرة الفوكونتية (الرسوبات البارّيمية في جبل واش والأبتية في واد شنيور)، ولكن السحن تعود لتصبح ساحلية بمجرد أن نتقدم نحو الشمال، حيث كانت توجد الكتل القديمة في منطقتي القبائل الكبرى والقبائل الصغرى.

ويتخذ الكريتاسي في نطاق الهضاب العليا في شمالي القارة الصحراوية، وحيث يكون هنا شديد السماكة، والذي كان عليه أن يتوضع في حفرة انكباسية، أقول يتخذ سحنة جورائية Jurassien[1] مع صخور كلسية حيوانية المنشأ بل وحتى أورغونية. ويؤلف الكريتاسي، بعد انقطاع المهماز Promontoire المغربي العائم (الميزيتا

(١) جوراني نسبة إلى جبال الجورا Jurassien وليس نسبة للجوراسي Jurassique في المفهوم الجيولوجي أو أواسط الحقب الثاني.

والأطلس الكبير)، يؤلف خليجاً حيث نعثر فيه أيضاً على سحن جورائية نموذجية. وتتخلى السحن الحيوانية المنشأ في الأطلس الصحراوي إلى رسوبات أرضية المنشأ مارنية حُثّية gréseux شديدة السماكة، ولكنها تكون شبه قارية عند قاعدتها، لأن الطغيان البحري لا يبدو أنه ابتدأ هنا إلّا مع الآبتي أو الآلبي Albien.

وأخيراً فإن القارة الصحراوية كانت تشكل، وذلك بواسطة حافتها الشمالية، سواحل البحر الكريتاسي الافريقي، فنشأت فيها تكوينات حمراء شبه صحراوية خلال الكريتاسي الأسفل (حث ذو حصباء سيليسية تدعى «**ملبّسات**» وجذوع متسلكتة «أو متسليسة» تعود لعاريات البذور، ولن تتعرض للاجتياح البحري إلّا خلال الكريتاسي الأعلى، في وقت الطغيان السينوماني الكبير.

٣ ــ التوزع الجغرافي للكريتاسي الأعلى

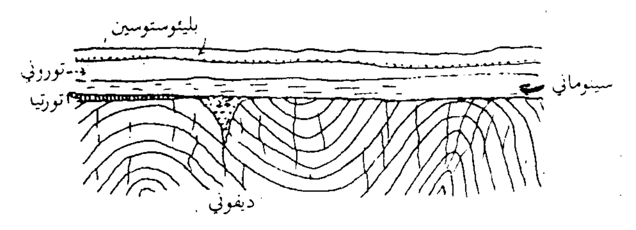
أ ــ الحوض الباريسي

وينطبق السينوماني فيه على أقصى الطغيان ويجتاح البحر أخيراً مضيق بواتو، حاملاً معه إلى الحوض الباريسي عناصر وحيشية رومية (متوسطية)، وهي Orbitolines و Rudistes. وتكون السحن عميقة أكثر كلما تقدمنا في اتجاه الأجزاء الوسطى من الحوض، ونرى فيها السحن الرملية ذات مستحاثات كبيرة **Orbitolina concava** أو **Acanthoceras rothomagenese** (رمال Moine ورمال Perche) وقد حل مكانها مارنيات ذات محارات **(Exogyra columba)**، ثم يأتي الحوار الغلوكوني الكثير الانتشار في منطقة روان Rouen (**حوار روان**). ويختفي الغلوكوني تدريجياً في اتجاه الجنوب الشرقي فيتم الانتقال إلى سحن مارنية عميقة كثيرة الانتشار في منطقتي Aube و Yonne. وأخيراً تظهر في شمال شرق باريس سحن ساحلية سينومانية: تلك هي منطقة **الغيز Gaize** والرمال المارنية ــ الغلوكونية لمنطقتي الآردين وآرغون، و **tourtia**، وهو

رصيص غلوكوني يؤلف قاعدة الأراضي الميتة [1] في الحوض الفحمي الفرنسي ـــ البلجيكي (شكل ٢٨٢).

ويقدم التوروني، الذي تكون تخومه الجغرافية القديمة (الباليوجغرافية) مماثلة تقريباً لتخوم السينوماني، يقدم في الحوض المذكور نموذجين: ففي منطقة تورين Touraine يكون ممثلاً بسحن حطامية، ميكاسية micacés وحيوانية المنشأ: ذاك هو حجر **طفو** tuffeau[2] في إقليم التورين. أما في المناطق الأخرى فإن سحنة الحوار المارني، هي التي تنتشر على الخصوص في منطقة مدينة روان Rouen.

ويبدو أن المجال البحري قد انكمش خلال السينوني في حوض باريس. ذاك هو عصر **الحوار الأبيض** ذو الصوان، وهو راسب مميز جداً والذي يغطي قسماً كبيراً من حوض باريس (شكل ٢٨٣).



شكل ٢٨٢ ـــ تنافر الكريتاسي الأعلى (Tourtia) فوق الباليوزوئيكي في بلجيكا (عن J.Cornet).

ولما كان هذا الحوار شديد التشقق، وبالتالي عالي النفوذية، عندما يكون منكشفاً، كما في «شمبانيا المقملة Pouilleuse» فهو يشكل مناطق جافة وموحشة مقفرة. ولكن أنتج تفسخ قديم (حقب ثالث) في مناطق أخرى، منتجات متنوعة، ولكنها كتيمة، معروفة بإسم **غضاريات ذات صوان**، والتي تحتفظ بالرطوبة وتعطي الأرض بعض الخصوبة.

ولا يمكن لاستراتيغرافية الحوار الأبيض أن تستند إلّا على دراسة المستحاثات،

---

(١) الأراضي الميتة morts-terrains هي الأتربة والصخور التي يجب التخلص منها أو اختراقها لبلوغ الخامات المعدنية في باطن الأرض.

(٢) صخر كلسي يحوي على حبيبات من الكوارتز والميكا ويستخدم في البناء رغم هشاشته.

حيث سمحت بعض مستحاثات **Micraster** و **Bélemnitelles** بقيام تقسيمات فرعية إلى أربعة طوابق. ويــؤرخ حوار Meudon ذو **Belemnitella mucronata** بأنــه مايستريخي.

شكل ٢٨٣ — **فرنسا خلال الكريتاسي الأعلى** (الطغيـان الأقصى خلال السينوني الأعلى) ١أ، حفرة آتورية. ١ب، حفرة البيرينيه الشمالي والرودانية «وادي الرون» مع سحن لاغونية وبحيرية. ٢، جيوسنكلينال شبه ألبي. ٣، مقعر بريانسونيه العملاق. وتظهر المناطق القارية على شكل نقاط متراخية. وتمثل الصلبان مكامن فحم الليغنيت.

ولنذكر في إقليم تورين Touraine السحنة المسماة **حوّار فيلديو Villedieu**، الذي يكون حطامياً أكثر من الحوار الأبيض ويحوي حتى مستحاثات من الروديست Rudistes. وقد عمل طغيان محلي، في شبه جزيرة كوتنتان Cotentin على جعل الكريتاسي الأعلى يرقد مباشرة (وهو هنا مايستريختي في هيئة **حوار ذي Baculites**) فوق الباليئوزوئيكي. وكذلك الحال ذاته في بريتانيا، حيث تم من قريب اكتشاف، وذلك في مدينة روسكوف على يد J.Bourcart، السينوني الطاغـي فوق الصخـور القديمة. وفي منطقة السوم Somme تكون سحن **الحوار الفوسفاتي**، هي التي تظهر للعيان (مع جيـوب تأكـلس Décalcifications غنيـة بحبيبـات فوسفـات الكـلس المستغلة)، وفي منطقة ليمبورغ Limbourg فإن المايستريختي هو الذي يكون طاغياً على الأراضي القديمة (**طفّـو مايستريخت**، حطامـي وغنـي كثيراً بالمستحاثـات مع Orbitoïdés و Mosasaure).

وسنعثر في انكلترا على كريتاسي علوي مماثل تماماً لكريتاسي حوض باريس. وقد

اندفع الطغيان السينوني للأمام كثيراً فوق قارة شمال الأطلنطي، وعليه يكون السينوني معروفاً في إيقوسيا وفي شمال شرق إيرلندا والذي يرقد مباشرة فوق صخور قديمة.

ب ـــ ألمانيا، الدانمارك وسكانيا

تكون توضعات الكريتاسي الأعلى حثّية gréseux في الجنوب، بجوار كتلتي رينانيا وبوهيميا، وعميقة في الشمال. ويكون النمط الحثي ممثلاً بصخور رملية، أو حثية، تدعى **Quadersandstein** (تتفتت على شكل جلاميد متوازية السطوح) في بلاد الساكس وفي بوهيميا (سويسرا السكسونية).

ويضم النمط العميق، في قاعدته، مركّباً سينومانياً ـــ تورونياً يدعى **بلانر** **Pläner** (طبقات Plauen قرب درسدن، في ألمانيا الشرقية) مؤلفاً بصورة جوهرية من صخور كلسية مارنية جيدة التطبق ذات رأسيات الأرجل، و Spatangidés و inocérames، كبيرة الانتشار في منطقتي هانوفر و وستفاليا، ويأتي السينوني في القمة، والذي يثبت وجوده في الدانمارك وبوميرانيا بسحنته من الحوار الأبيض ذي الصوان، وفي وستفاليا بمارنيات ذات رأسيات الأرجل المسماة **إيمشر** **Emscher** (نسبة إلى نهر صغير) (كونياسي Coniacien)، وبمارنيات حُثّية gréseuses ذات **Marsupites** (سانتوني)، وبمارنيات ذات **Belmnitella quadrata** وإسفنجيات **(Coeloptychium)** وبامونيات كبيرة (كامباني) وأخيراً بحوار ذي **Belemnitella mucroneta** (مايستريختي). وهناك في سكانيا وفي الدانمارك تمكن رؤية، وذلك من فوق هذا المايستريختي، طبقات ذات **Nautilus danicus** و **Crania ignabergensis** تمثل الطابق الداني Danien. وهذا الداني يكون هنا في استمرارية مع الثلاثي (مونتي Montien).

جـ ـــ المناطق المتوسطية (الرومية)

يملك الكريتاسي الأعلى، في هذه المناطق سحنة مختلفة تماماً عن السحنة التي أتينا على وصفها (سحنة شمالية ذات Bélemnitelles). ونحن هنا في الإقليم المتوسطي

الحار المتصف بعضوياته الرصيفية والبنّـاءة (Rudistes، ستروموبور Stromopores، «مدخات بولييات»، أوربيتولين) ويجب أن يعزى ذلك إلى المناخات، التي كانت تتمايز وتختلف عن بعضها أكثر فأكثر.

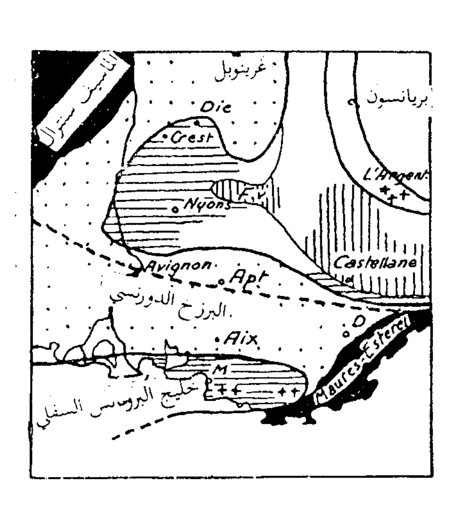
أ ــ **أكيتانيا**: ولا يظهر الكريتاسي فيها إلّا على الحافة الشمالية للحوض، ولكن ابتداءً من الكريتاسي الأعلى الساحلي كثيراً والذي تكون قاعدته ممثلة بالسينوماني الطاغي.

ويكون هذا الطابق مؤلفاً، على الخصوص، فيها من صخور حُـث، ورمال، وصخـــور كلسيـــــة ذات Rudistes (**ichthyosarcolithes**، **Praeradiolites**، **Caprina**) أو ذات Stromatopores (جزيرة Madame). ويبدأ التوروني بصخـور كلسية مارنية ذات **inoceramus labiatus** ويستمر بصخور كلسية ذات Rudistes (أوائل هيبوريت Hippurites) ويتمثل السينوني المتنضد بصخور كلسية حيوية المنشأ ذات تناوبات عديدة من صخور كلسية ذات Rudistes وتختتم بالمايستريختي (وهو هنا دوردوني Dordonien).

ب ــ **جبال البيرينيه**: ونشهـد فيها، بعـد مرحلـة الالتـواءات السابقـة للسينومانية، ردم حوضة شمال البيرينيه برسوبات الكريتاسية المبكرة، ذات سحنة الفليش (مركّـب حثي ــ شيستي). وتكون قاعـدة هذا الفلـيش، والتـي تمثـل السينومامي والتوروني، متنافرة فوق قاعدتها وطاغية على نطاق واسع في اتجاه الجنوب. وفي السينوني، تشكلت في الغرب حفرة دعيت **الخليج الآتوري** الذي توضّـعت فيه صخور كلسية مارنية، ذات رأسيات الأرجل و Fucoïdes (آتوري Aturien). وتكون هذه الطبقات قرب داكس (محدب ترسيس Tercis) مغطاة بصخور كلسية مارنية ذات **Ananchytes** و **Nautilus danicus** تمثل الداني Danien. وتكـون حافـة هذا الخليج من جانب الشرق ملحوظة بصخور كلسية ذات هيبوريت متنوعـة جداً (نطاقات عديدة) وصخور حث مايستريختية. وإلى الجنوب من تولوز، في جبال

البيرينيه الصغرى، ينتهي الكريتاسي الأعلى بطبقات أجاجية مع تناوبات من سافات ذات روديست تشكل انتقالاً إلى الثلاثي (غرومني Grumnien).

جـ ــ خليج البروفانس المنخفضة: لقد سبق لنا أن ألمحنا آنفاً إلى هذا العنصر الباليوجغرافي الجديد المحدود من الشمال **ببرزخ دورنس الأسفل** المتلاحم مع الماسيف سنترال، والمحدود من الجنوب ومن جانب الشرق بكتلة مور ــ استيريل

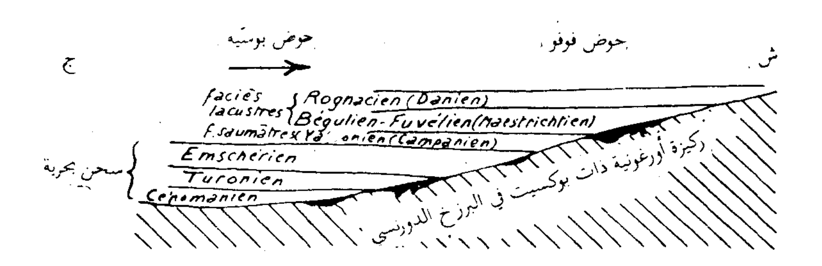


شكل ٢٨٤ ــ سحنة الكريتاسي الأعلى (توروني) في حوض الرون (أ. هوغ). يشير اللون الأسود إلى الصخور القديمة، والنقاط إلى الأمكنة العائمة. وتشير الخطوط العمودية إلى التكوينات البحرية العميقة والخطوط المستقيمة إلى التكوينات النيريتية (فوق الرف القاري). وتشير الصلبان إلى الصخور الكلسية ذات الروديست. FV = حفرة فوكونتية منكمشة جداً خلال التوروني. M = مرسيليا. D = دراغينيان. ويشير الخط المؤلف من شطبات متقطعة إلى التخم الجنوبي للبحر الألبي في السينوماني، وهو عصر كان لخليج البروفانس السفلي فيه الحواف ذاتها.

القديمة والذي كان ينفتح بشكل عريض نحو الغرب (شكل ٢٨٤) ويمكن اعتباره كتابع شرقي لحوض شمال البيرينيه.

وابتداءً من الآبتي نشأت تشكلات قارية خاصة، من نمط لاتيريتي، فوق برزخ دورنس الأسفل، تلك هي **البوكسيت** الشهيرة، المنتشرة كثيراً في منطقة بو Baux، قرب مدينة آرل. ولقد توضعت هذه في تجاويف كارست أورغوني وتكون مغطاة بطبقات بحرية أو بحيرية طاغية والتي يكون عمرها أحدث كلما اتجهنا أكثر نحو الشمال (شكل ٢٨٥). ويوجد السينوماني، المؤلف من حث ذي أوربيتولين وروديست، في كل حوض بوسّيه، دون أن يبلغ حوض Fuveau ولا سانت بوم.

ويشتمل التوروني الذي يعقبه مارنيات سوداء وصخور كلسية ذات روديست مع تناوبات من رصيص سيلي عند منقار النسر Bec de l'Aigle . ويكون الإيمشري Emschérien طاغياً لأنه يبلغ حوض فوفو Fuveau ، ويشتمل أيضاً على أرصفة récifs بديعة من الروديست محاطة بسافات رصيفية ذات إسفنجيات سيليسية (المكمن البديع في سان سيرسور مير) . وتكون نهاية الكريتاسي موسومةً في كل هذه المنطقة البروفانسية بتجفف الخليج البحري تدريجياً .



شكل ٢٨٥ ــ **الطغيان النيوكريتاسي لخليج البروفانس السفلي فوق البرزخ الدورنسي**. وتكون رسوبات البوكسيت الواقعة فوق الركيزة الأورغونية مغطاة تدريجياً .

وتأتي من فوق الطبقات البحرية السانتونية الأخيرة في الواقع مركّبات أجاجية أو بحيرية أطلقت عليها أسماء خاصة لطوابق : فالدوني (صخور كلسية بحيرية وغضاريات ليغنيتية ذات **Cyrena globosa** = كامباني) ، وفوفيلي (مارنيات كلسية مارنية مع فحم ليغنيت مستغل في بلدة **Fuveau** = مايستريختي) ، وبيغولي (صخر رملي (حث) مبرقش ، رصيص وصخور كلسية بحيرية ذات **Lychnus** و **Physes**) وأخيراً رونياسي (غضاريات حمراء ذات هياكل عظمية لدينوصوريات ، وصخور كلس رونياك **Rognac** ذات **Lychnus** = داني) ويتم الانتقال إلى الثلاثي هنا بواسطة طبقات تكون أيضاً بحيرية ذات مستحاثات مونتية (فيتروللية Vitrollien) .

د ــ المنطقة الألبية وتوابعها

ونكون الآن على الجانب الآخر من البرزخ الدورنسي[1] في مجال البحر الألبي

(١) نسبة إلى نهر دورنس Durance وهو رافد أيسر لنهر الرون .

وملحقاته، الخاضعة لمؤثرات شمالية (Bèlemnitelles) في مجملها، باستثناء إلى الجنوب من ذلك، بجوار البرزخ الدورنسي، حيث توجد بعض المستعمرات المداريــة (Rudistes و Orbitolimes).

وتكون السحن العميقة متحققة على الخصوص في منطقة نيس، حيث يكون الكريتاسي الأعلى على شكل مارنيات (سينوماني) وصخور كلسية متآخذة نوعاً ما (توروني) وأخيراً مؤلفاً من صخور كلسية مارنية سينونية غنية بالإسفنجيات ومستغلة كحجر كلس هيدروليكي ولكن مع ثغرة خلال المايستريختي. ونعثر على هذه السحن نحو الشمال باتجاه كاستـلّان وحتـى في حوض دورنس الأعلى، وفي Sisteron وفي Embrun، دون أن يكون من المستطاع في ذلك العصر تمييز وتفريد الحفرة الفوكونتية (شكل ٢٨٤).

وفي المناطق الأخرى يكون الكريتاسي الأعلى نيريتيـاً أو ساحليـاً. ويوجـد السينوماني الحـثّـي ذو Orbitolines و Rudistes على طول كتلة مور ـــ استيريل وفي منطقة فوركالكييه ـــ آبت. أما في وادي الرون الأدنى، فإن صخور الحث ذات الليغنيت (ليغنيت Piolenc) أو صخور الحث ذات المستحاثات البحرية المتسليسة (حث Uchaux) فهـي التـي تمثـل السينومـاني ـــ الإيمشيري. وهنـا أيضاً يكـون المايستريختي غائباً أو ممثلاً بطبقات قارية.

هذا وتكون السحن من جديد مختلفة في السلاسل شبه الألبية الشمالية. ففي منطقة Dévolu (شكل ٢٨١، II) يكون السينوني سميكاً جداً ومؤلفاً من صخور كلسية تتخذ شكل طبقات ذات بريويات «حزازيات» حيوانية ومن صخور كلسية مارنية أو ذات صوان، تكون متنافرة فوق أرضية ملتوية (حركات سابقة للسينوني) وفي منطقة Vercors نعثر على السينوماني الحثي ـــ الغلوكـوني، وذلك فوق الفراكونّـي (آلبي أعلى) غنياً جداً بالمستحاثات في موقع لافوج La Fauge.

ولكن السينوني يغـطّـي، في كل مكان آخر، الآلبياني مباشرة، ويتألف من صخور كلسية حثية أو مارنية على شكل بلاطات (lauzes) تتنضد فوقها صخـور كلسية شبه طباعية ذات صوان، وتنتهي في موقع Méaudre بصخور كلسية ذات

Orbitoïdes و **Sidérolites** تنسب للمايستريختي . وإلى الشمال من ذلك أكثر ؛ أي في كتل Bauges و Bornes و Sixt . ولا يزال السينوماني يؤلف بعض البقع ، في حين أن السينوني ، الذي يكون على هيئة صخور كلسية شبه طباعية **Sublithographiques** بيضاء ، تكون حمراء أحياناً وتحتوي على منخربات بيلاجية (بحرية عميقة) غلوبيجرين و Rosalines) ويكون ، حيثما كان ، طاغياً فوق الالبي الحثي والغلوكوني .

وفي اتجاه الشمال الشرقي ، تشهد بعض مزق السينوني ، التي غفل عنها الحت في جبال الجورا ، على أن المنطقة قد غمرها البحر في ذلك العصر وأن البحر الألبي كان يتصل ببحر حوض باريس بواسطة المضيق المورفاني ـــ الفوجي .

وإذا غادرنا النطاقات الألبية الخارجية كي نتجه نحو الشرق ؛ أي نحو النطاقات الألبية الداخلية ، فسندخل في المجال البريانسوني ، حيث يكون الكريتاسي الأعلى معروفاً تماماً هذه المرة : ذاك هو « الرخام على شكل لويحات » (شكل ٢٨١ ، II) ، وهو تكوين كلسي ـــ مرمري ذو روزالين ، والذي يبدو طاغياً وغالباً ما يبدأ ببريش « بريشيا » ذات حصويات متعددة الألوان . وأخيراً فإنه من المحتمل أن يكون الكريتاسي الأعلى ممثلاً بسحن استحالية في نطاق صخور الشيست اللماع **lustrés** لأن من المعروف وجود ، في النطاق الوسيط في منطقة فانواز Vanoise ، صخور كالكشيست شديدة التحول والتي تحوي أيضاً على روزالين Rosalines .

ويتمثل الكريتاسي الأعلى بواسطة طبقات مشابهة جداً « للرخام اللويحي **en Plaquettes** » والمسماة « الطبقات الحمراء » وذلك في أغشية مقدمة الألب ، وفي الألب الدينارية **(Scaglia)** والآبنين (**غضار Scagliose**) وفي جبال الكربات . ولننوه مع ذلك بأن بلدة غوزو Gosau ، في جبال الألب الشرقية ، تكون شهيرة بكريتاسها العلوي الساحلي للغاية بل وحتى الأجاجي والذي يشتمل على طبقات ذات **Rudistes** ، وصخور كلسية ذات مدخات Polypiers **(Cyclolites)** وتوضعات ليغنيتية ، ترقد بتنافر فوق أرضية ملتوية (حركات سابقة للسينوني) .

هـ ــ افريقيا الشمالية « المغرب العربي »

هناك واقع باليوجغرافي رئيسي حدث هنا منذ بداية الكريتاسي الأعلى ذلك أن الطغيان السينوماني الكبير هو الذي اجتاح المناطق الصحراوية لأول ولآخر مرة، مندفعاً حتى في الوديان القديمة ضمن كتلة جبال هـقّـار المتبلورة. وقد توضّعت في كل الأمكنة مارنيات أو مارنيات كلسية ذات Ostracés مع النادر من الأمونيات (سحنة افريقية من الكريتاسي)، مؤلفة تلك الهضاب الصخرية الفسيحة في الصحراء الكبرى (**الحمادة**). أما في المناطق الأخرى التي سبق لها أن احتلها البحر الكريتاسي الأدنى (الهضاب العليا، الأطلس الصحراوي) فيظل الكريتاسي الأعلى ضحلاً، مع مؤثرات لاغونية، ويكون السينوماني مؤلفاً هنا من مارنيات كلسية ذات محارات و **Oursins**، هذا في حين تظهر صخور كلسية ذات روديست **Rudistes** في التوروني وصخور كلسية ذات inocérames في السينوني، كما تمثل طبقات ذات **Cardita Beaumonti** الداني Danien ذاته. ولكن في الأطلس التلي وفي الريف المغربي يكون الكريتاسي الأعلى بحرياً صرفاً وعميقاً حتى لقد قدم سحنة الفليش وسحنة مارنيات أو صخور كلس ذات روزالين.

٤ ــ الكريتاسي في أمريكا الشمالية

أ ــ الكريتاسي الأسفل

أ ــ نمط الأطلنطي (تكوين بوتوماك (Potomac): وهي تكوينات قارية مماثلة للفيلدي الأوروبي حاوية في بعض الأمكنة على مكامن غنية بالنباتات تذكرنا بمكامن، من العمر ذاته، في البرتغال. وقد نشأت فوق قارة شمالي أمريكا التي لم يدركها البحر بعد.

ب ــ نمط أمريكا الوسطى (كومانشيك): وهو الذي يصادف في

المكسيك وفي التكساس. وتكون هذه المرة، عبارة عن طبقات بحرية فوقارية طغيانية فوق قارة شمالي أمريكا وتقدم وشائج قربى رومية (Orbitolines, Rudistes, Oursins).

جـ ــ **النمط الباسفيكي (Knoxville-Beds)** : وتكون السحن هنا سميكة جداً وعميقة كثيراً (المكامن الجميلة للأمونيات ذات صلات النسب الشمالية) وقد توضعت في مقعر أرضي باسفيكي يعتقد أنه التوى في الحقب الثالث والذي كان خلال الكريتاسي الأدنى منفصلاً عن البحر الكومانشيكي بلسان أرضي والذي ينطبق على الجبال الصخرية وعلى المكسيك الغربية.

ب ــ الكريتاسي الأعلى

كانت الطغيانات الكبرى التي حدثت في هذه الفترة تجنح إلى توحيد الوحيشات والسحن، بحيث أن النماذج التي وصفناها، عند الكلام عن الكريتاسي الأدنى، لا نعثر عليها إطلاقاً في الكريتاسي الأعلى. وقد ظل البحر عميقاً في مجال الجيوسنكلينال الباسفيكي (زمرة شيستية سميكة ذات وحيشات ذات صلات قربى آسيوية) واجتاح قارة شمال الأطلنطي على السفح الشرقي من جبال الآبالاش وفي ولايات الوسط. وفي هذه المناطق الأخيرة يكون من المستطاع تمييز سينوماني مع مؤثرات قارية (تكوين داكوتا) ثم تظهر كل بقية الكريتاسي الأعلى على شكل سحن بحرية وشبه حوارية (تكوين كولورادو ومونتانا). وقد وفرت السواحل المنبسطة لهذا البحر المأوى لزواحف دينوصورية شهيرة ولأوائل الطيور ذات الأسنان (**ichthyornis** و **Hesperornis**). ثم تجفف البحر حوالي نهاية الكريتاسي وحلت محله بحيرة واسعة توضعت فيها طبقات سميكة دعيت بطبقات لارامي Laramie الشهيرة بوحيشاتها من الدينوصوريات (الأواخر) والثدييات العديدة الدرنات Multituberculés وبنبيتها البديع المشابه لنبيت بوتوماك. غير أن الزمرة تنتهي في التكساس بطبقات بحرية ذات **Nautilus danicus** و **Cardita Beaumonti** (مجموعة ميدواي Midway).

الفصل التاسع

الصخور النمولتية (الباليوجين)

١ ــ صفات عامة

يضم اسم **باليوجين**، الذي يخالف النيوجين الذي سندرسه في الفصل القادم، يضم كل الأراضي الثلاثية القديمة التي توجد فيها الفلسيات Nummulites، ومنها جاء اسم **نموليتي** الذي أُطلق عليها في أكثر الأحيان والذي سنستخدمه هنا.

ففي بداية الثلاثي (الثالثي) كان المجال البحري في حالة انحسار، مما يؤلف تخماً سفلياً جيداً، ولكن حدث أن طغياناً جديداً اتصفت به نهاية الباليوجين الذي يبدو، كما تحدد وتأطَّرَّ هنا، متصفاً بشخصية ستراتيغرافية كاملة.

أما من وجهة النظر الوحيشية، فإن الاختلاف بين الكريتاسي والثلاثي يكون صريحاً جداً. فقد اختفت الأمونيات والبلمنيتات كلياً في نهاية الحقب الثاني، وكذلك الحال بالنسبة للروديست وللدينوصوريات. غير أنه ابتداءً من الحقب الثلاثي ظهرت الثدييات المشيمية والفلسيات، كما أن صفات مختلفة أخرى ملحوظة لدى القنفذيات (آخينوس) oursins وقصيرات الأرجل ورخويات تدعم هذا الانفصال. وأخيراً فيما يتعلق بالنبيت فإن الثلاثي كان عهد مملكة ثنائيات الفلقتين المتحدة التويجات.

وستكون التقسيمات الفرعية، لهذا الدور النموليتي، على شكل طوابق، ممكنة بفضل دراسة الفلسيات، و Cérithes والثدييات، والتي ستتوزع حسب قسمين يكون من الميسور تمييزهما وهما:

الإيوسين: التي يتميز بندرة الأشكال العضوية الحديثة.

الأوليغوسين: (طغياني في ألمانيا) الذي تظهر فيه أوائل الأشكال العصرية.

أوليغوسين

آكيتاني (فالون faluns بحري لمنطقة Bazas ولمنطقة Saucats؛ أي القسم العلوي من صخر بوس Beauce الكلسي، وصخر Agenais الرمادي).

شطّي Chattien: نسبة إلى اسم قبيلة Chattes القديمة قرب Cassel (= كاسّيلي) في ألمانيا (أساس صخر بوس الكلسي وصخور كلسية بيضاء لمنطقة Agenais، وكلس ذو indusies في ليمانيا).

ستامبي: نسبة إلى Etampes (رمال وحث بلدة فونتينبلو وإيتامب).

سانّوازي: نسبة إلى Sannois قرب باريس (كلس Brie، مارنيات بانتان، قرب باريس).

الإيوسين

إيوسين أعلى

لودي: نسبة إلى جبل Ludes قرب رنس Reims شرقي باريس (جبس مونتمارتر ذو Paleotherium).

بارتوني (ليدي): نسبة إلى بارتون في إنكلترا (كلس سان وان: قرب باريس)[1].

إيوسين أوسط

لوتيسي (كويزي): غضاريات Ypres ورمال كويز Cuise.

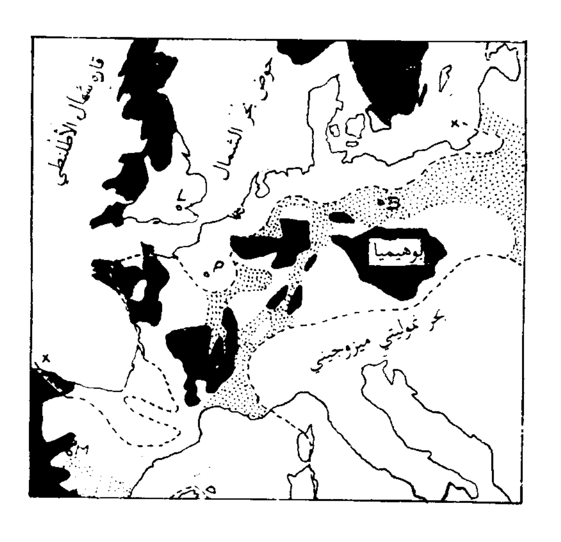
سبارناسي: نسبة إلى Epernay (غضار لدن لحوض باريس وليغنيت سواسونّيه).

---

(١) تكون الطبقتان في جبال الألب، حيث يكون التمييز بين اللودي والبارتوني مستحيلاً، مندمجتين تحت إسم **بريابوني** (نمط اتخذ في Priabona في منطقة Vicentin)، وهو طابق أكثر compréhensif والذي يقابل إذن الإيوسين الأعلى.

ثانيتـي: نسبـة إلى جزيـرة Thanet في انكلتـرا (ترافرتـان Sézanne ورصيص Cernay-les-Reims، رمال Bracheux)[٢].

مونتي: (صخر كلسي يسمى بيزوليتي منطقة Mons في بلجيكا).



شكل ٢٨٦ ـ أوروبا الغربية خلال النموليتي. يشير اللون الأسود إلى الكتل الهيرسينية والخط XX إلى الحد الجنوبي للبحار في أقصى طغيان إيوسيني، أما البقاع المنقطة، فهي مناطق الرقعة القارية التي اجتاحتها فقط خلال الأوليغوسين ثلاثة أذرع بحرّية أو لاغونات (نقلاً عن م. جينيو. مبسَّط).

أما من وجهة النظر الباليوجغرافية (شكل ٢٨٦)، فيجب التنويه بأن البحر الذي، بعد أن انحسر بعد الكريتاسي نهائياً، أعاد الكرة بصورة هجومية في أوروبا منذ بداية الحقب الثلاثي، ولم تكن القارات مختلفة بصورة محسوسة عن بحار الكريتاسي. أما في الشمال فقد كانت توجد بالواقع دوماً رقعة قارية محاطة ببحر فوقاري épicontinentale كان يحتل موقع بحر الشمال، وفيما وراء ذلك كانت الكتل الهيرسينية العائمة لأوروبا الوسطى (بريتانيا، الماسيف سنترال الفرنسية، الكتلة الرينانية وبوهيميا مع أحواضها)، وكان يمتد إلى الجنوب منها بحر أبيض متوسط جيوسنكلينالي. ففي هذه الحفرة الواسعة ثابرت الرسوبات على تراكمها، والتي بعد أن التوت بعنف خلال الحقب الثالث، ساهمت في تشييد السلسلة الألبية. وقد حصل ذلك خلال عدة أزمنة: ففي البداية تفردت كل من البيرينيه وسلاسل البروفانس خلال الإيوسين، ثم جاء دور السلسلة الألبية البحتة التي ستنبثق أثناء

(٢) يطلق على مجمل السبارناسي والثانيتي أحياناً اسم **لانديني Landénien**.

الأوليغوسين طاردة البحر نحو أخدود سيتحول إلى لاغون يحيط بجبال الألب، ولكننا سنرى أن آخر دفعة ألبية ستحدث في النيوجين، بعد توضع المولاس الميوسيني.

وكانت قارة شمال الأطلنطي موجودة دائماً، حتى أنها كانت مرتبطة بالقارة الأمريكية الشمالية وهذا ما تبرهن عليه هجرات الفقاريات الثلاثية والعديد من العناصر المشتركة من النبيت والوحيش.

وفي اتجاه الشرق كان هناك ذراع بحري يقوم بفصل أوروبا عن آسيا.

أما في الجنوب فلم تكن قارة غوندوانا الكبرى قد أنجزت بعد تجزؤها، وإذا كانت مدغسكر قد حققت انفصالها عن افريقيا، فقد كانت هناك سبحة من الجزر تربطها بالهند، غير أن استراليا كانت منعزلة، مما يفسر وحيشها الفريد جداً. وأخيراً فإن أمريكا الجنوبية لم تكن بعد ملتحمة مع أمريكا الشمالية.

هذا ويجب أن نميز خلال النموليتي، كما هو الحال في الكريتاسي، إقليماً بحرياً حاراً رومياً متميزاً بمنخربات كبيرة (نموليت «فلسيات» سنخيات Alvéolines) والبوليبيه، وإقليماً شمالياً ملحقاً ببحر الشمال وبالحوض الانكليزي ـــ الباريسي. وقد كان هذان الإقليمان منفصلان، إلى حدّ ما، عن بعضهما بالكتل الهيرسينية لأوروبا الوسطى.

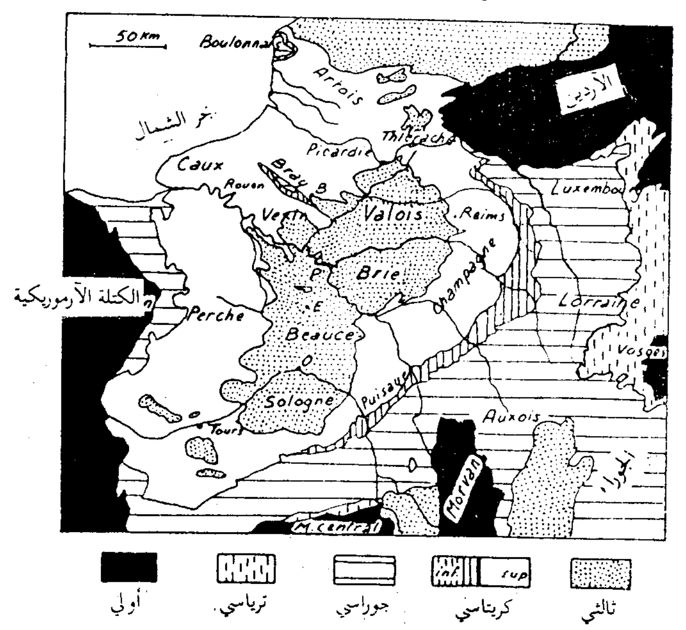
٢ ـــ التوزع الجغرافي للنموليتي

أ ـــ الزمرة النموذجية لحوض باريس

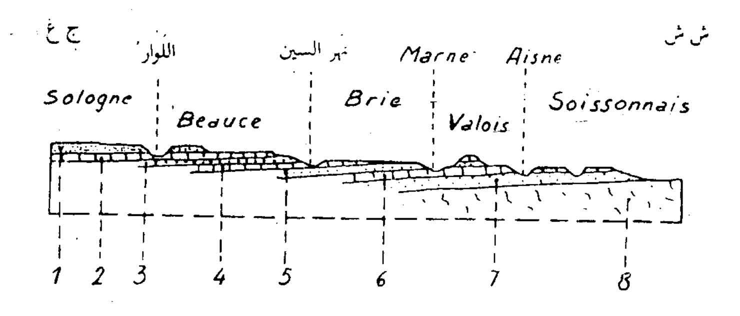
إن حوض باريس هو منطقة تقليدية لدراسة النموليتي لأنه، فضلاً عن أن دراسته تمت هنا بصورة أقدم من أي مكان آخر، فقد تم هنا أيضاً التعرف على معظم نماذج طوابقه (شكل ٢٨٧ و ٢٨٨).

ففي هذه المنطقة، التي كانت منخفضة وربما كثيرة الأودية الضحلة، تقدم

البحر، منذ بداية الحقب الثالث، كي يشكل خليجاً متفاوتاً في تقدمه للجنوب، ولكن يظل دائماً ضحلاً، والذي كانت تقلباته مترجمة بتوضع رواسب متنوعة (بحرية في وسط الخليج، أجاجية أو بحيرية على الأطراف) والذي كان التمييز فيما بينها هدفاً كذلك لدراسات عديدة (شكل ٢٨٩).

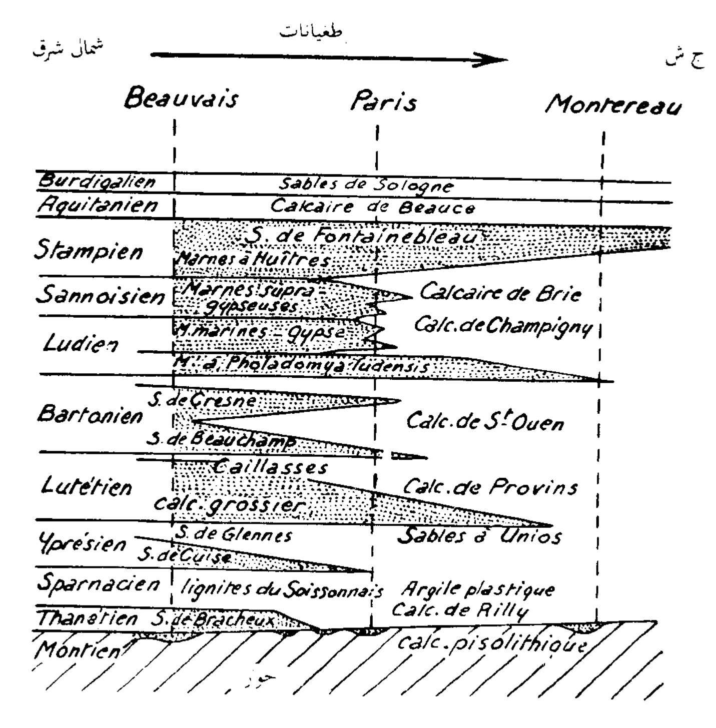


شكل ٢٨٧ ــ مخطط جيولوجي لحوض باريس.



شكل ٢٨٨ ــ بنية إيل دو فرانس (بين لاؤن وأورليئان). ١، رمال سولونية وأورليئانيه (ميوسين). ٢، صخر بوس الكلسي (آكيتاني) ٣، رمال فونتينبلو (ستامبي) ٤، كلس بري (سانّوازي). ٥، رمال أوفير وبوشان (بارتوني). ٦، صخر كلسي غليظ (لوتيسي). ٧، غضار لدن وليغنيت (سبارناسي). ٨، حوار أبيض.

إيوسين : ويبدأ بطابق **المونتي Montien** الممثل **بصخر كلسي بازلّائي** (أرومات **ليثوثامنيوم**) التي تظهر على شكل مزق مرصعة في الأجزاء المنخفضة من الأودية القديمة (مثال في Meudon ، وفي Laversines ، و Vertus). وتكون المستحاثات فيه خاصة وتختلف عن مستحاثات الكريتاسي. وتكون مؤلفة بالدرجة الأولى من Cérithes **(Cerithium inopinatum)** وبعض Turritelles **(Turritella montensis)** ، غير أن وجود مستحاثة **Nautilus danicus** يشير أيضاً لبعض التأثيرات الكريتاسية.

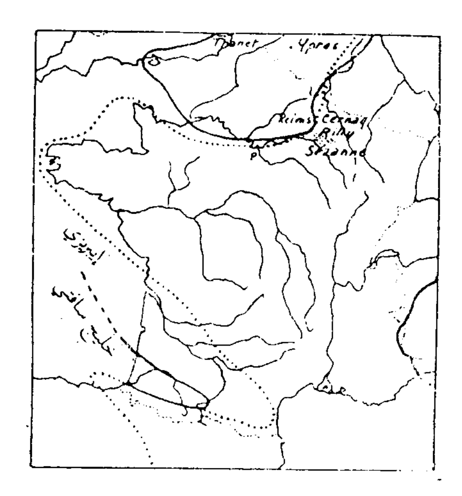


شكل ٢٨٩ ــ **مخطط** تقريبي للطغيانات البحرية الثوليتية في حوض باريس.

ففي الأعلى يشير طابق **الثانيتي Thanétien** (شكل ٢٩٠) إلى أول طغيان كبير بحري ثلاثي لوجود **رمال براشو Bracheux** ذات **Ostrea bellovacina** و **Cucullæ a crassatina** التي تتجاوز الأودية القديمة على نطاق واسع حتى مدينتي روان وإيبيرناي Epernay . وكان يوجد على أطراف الحوض بحيرات واسعة، حيث كانت

تتوضع فيها وحول كلسية (صخر كلسي ريللي Rilly البحيري) ذات **Physa gigantea**، هذا في حين كانت الينابيع التي تصب في هذه البحيرات تشكل فيها كتلاً من الترافرتان والتي من أكثرها شهرة **ترافرتان سيزان Travertin de Sézanne** الشهير بقوالبه من الحشرات والنباتات مع أزهارها. وينتهي الثانيتي قرب مدينة رانس Reims برصيص سرناي Cernay الذي قدم أقدم الثدييات الثلاثية الأوروبية.

ويتميز **السبارناسي** بتراجع البحر واستقرار لاغونات أجاجية أو محلّاة نشأ فيها، في الشمال وفي الشرق، فحم **ليغنيت سواسونّيه Soissonnais**، في حين توضّع في باريس وإلى الجنوب أكثر **الغضار اللدن Plastique**، وهو سحنة قارية كلية. وقد كانت هذه اللاغونات ممتدة جنوباً في اتجاه الجنوب لأننا نعثر على رسوبات سبارناسية في سيزان، وتروا Troyes، و Auxerre و Cosne و Nemours (**بودينغ نيمور Nemours**، الناشئ في معظمه على حساب الصخور المتبلورة من الماسّيف سنترال).



شكل ٢٩٠ ــ **فرنسا خلال الإيبوسين الأسفل.**

وحصل طغيان بحري جديد في **الإيبريسي** Yprésien (الكويزي Cuisien) (شكل ٢٨٢) وتتقدم الرسوبات باتجاه الجنوب لما وراء الثانيتي Thanétien، تلك هي **رمال كويز** (**الرمال السفلى** لدى الجيولوجيين القدامى)، التي تظهر فيها أوائل فلسيات المنطقة **(Nimmulites planulatus-elegans)**، التي وفدت من مناطق جنوبية بواسطة بحر المانش (لأن مضيق بواتو Poitou كان مغلقاً حينذاك)، مع بعض قواقع

كبريات معديات الأرجل مثل **Velates schmiedelianus** . وحصل انحسار في نهاية الطابق (حث grès بيللو Belleu ذات حشيشة الكافور Camphriers ورمال ذات Unios d'ay ، قرب إيبرناي).

وبعدئذ وقع الطغيان الجديد المدعو اللوتيسياني (شكل ٢٩١) الذي تجاوز جنوب باريس وكاد يبلغ فونتينبلو و Provins ذاك هو عصر توضع **صخر الكلس الغليظ**، وهو تكوين حيواني المنشأ الغني **بالعضويات** البنّاءة (مثل Milioles ، Orbitolites ، **Nummulites laevigatus**) وبقواقع الرخويات الكبيرة (**Venericardia planicosta** و **Certhium giganteum**) . وقد بلغت هذه الأشكال الحارة أيضاً الحوض الباريسي عن طريق بحر المانش.

ذاك هو الحجر الكلسي الغليظ، الذي يشكل هضبة إيل دو فرانس ile de France ، ونميز فيه طبقات ذات Cérithes (سافات ذات رافعات بلغة الحجارين = قوالب C.giganteum) وسافات ذات فلسيات (**حجارة ذات فلوس**) وفي القمة نجد **سافاً أخضر** يحوي بصمات النخيل (كايّاس Caillasse).

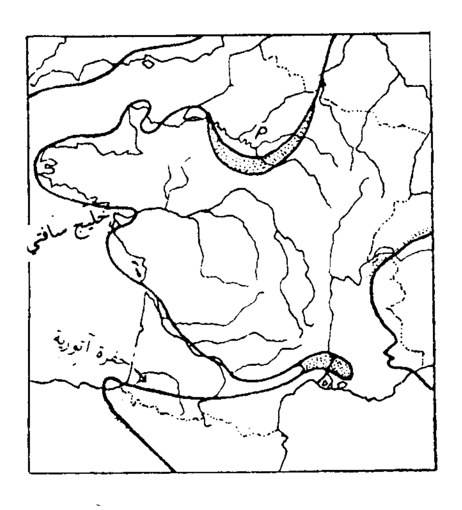
هذا وكانت تمتد على حافة الحوض، ولا سيما في اتجاه الجنوب (Provins, Morancez) بحيرات واسعة كان الترسب فيها نشيطاً (صخور كلسية ذات **Planorbis pseudoammonius**).

ويتنضّد فوق صخور الساف الأخضر (كايّاس) البحيرية اللوتيسانية ساف آخر رملي بحري يدعى **رمال بوشان Beauchamp** (**الرمال الوسطى** لدى قدامى الجيولوجيين)[1]، وكما هي العادة دوماً، تكون أطراف الحوض موسومة بتشكلات بحيرية (صخر كلس دو Ducy ذو Planorbes وصخر سان وان Saint-Ouen الكلسي ذو **Limnea longiscata**) . وسنحتفظ باسم **بارتوني Bartonien** (= ليدي Lédien) لهذا المجموع.

---

(١) وقد تم أحياناً تمييز الجزء الأسفل من هده الرمال الوسطى (مستويات Auvers) عن المستويات العليا (رمال **Marines** و Pontoise) وذلك تحت إسم أوفيرسي Auversien وهو طابق لم يتم عليه الاتفاق عموماً.

ويشير الطابق التالي أو **لودي Ludien** إلى تقدم البحر مع ظهـور مارنيـات **Pholadomya ludensis**، ثم ساد نظام لاغوني وراحت صخور « جبس مونتمارتر » ذات **Paleotherium** تترسب وظلت خلال مدة طويلـة هدفـاً لاستغـلال نشيـط. ومـن المعروف أن صخور الجبس هذه تتحول جانبياً، في جنوب شرق نهر المارن، إلى صخور كلس **ترافرتان شامبيني Chompigny**. (ص ٤٦٤).



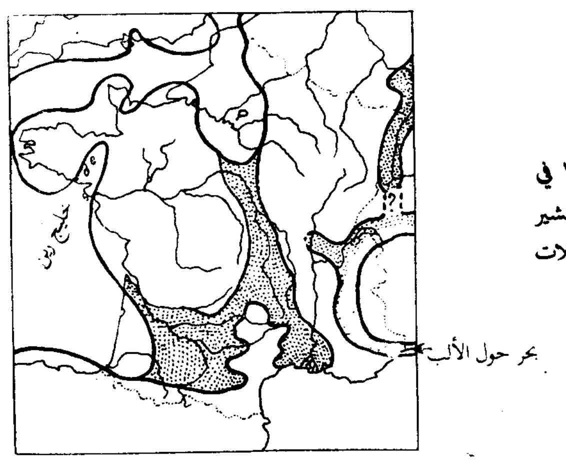
شكـل ٢٩١ ـ **البحـار اللوتيسانية في فرنسا**. وتشير المناطق المنقطة إلى التشكلات البحرية والأجاجيـة الهامشيـة (بحيرتا مورانسيز وبحيرة بروفان في الحوض الباريسي).

الأوليغوسين: وتكون حدوده غامضة ومجال أخذ ورد في حوض باريس. ومن المتفق عليه أن الأوليغوسين يبدأ هنـا بمارنيـات **فوق جبسيـة Supragypseuse**، لأن الوحيشات البحرية التي نعثر عليها فيه تكون مختلفة تماماً عن وحيشات الإيوسين. وتنطبق هذه المارنيات على **السانوازي Sannoisien**.

تلك هي مارنيات زرقاء، بيضاء، أو خضراء ذات Limnés و Cyrènes تحل مكانها، في المناطق التي تشغلها صخور كلس Champigny، **صخـور بري Brie الكلسية**، التي تعطي، عندما تكون متأكلسة عند السطح، **صخور موليير بري meulière de Brie**.

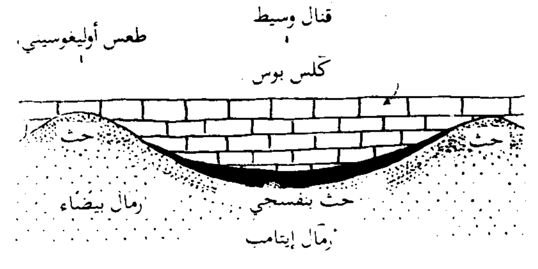
هذا ويكون **الستامبي** (شكل ٢٩٢) ممثلاً بصورة منسجمة للغاية، عند قاعدته، **بمارنيات ذات Ostrea Cyathula**، مثلما تمثله في القمة رمال متصلبة في

بعض الأمكنة على شكل صخر رملي (حث) تلك هي صخور **فونتينبلو الرملية الشهيرة** (**الرمال العليا** لدى الجيولوجيين القدامى) وصخور رملية إيتامب ذات **Natica crassatina** و **Pectunculus obovatus** .



شكـــل ٢٩٢ ــ **فرنسا في الـعصر الستامبـي**. تشير المناطـق المنقطـة للتشكـلات اللاغونية والبحيرية .

أما العوم الذي أعقب ذلك الاجتياح البحري الختامي في حوض باريس، فقد كان مصحوباً برياح عاتية ومنتظمة شيدت كثباناً عديـدة على حساب الرمـال الستامبية، ولا سيما في منطقة مدينة إيتامب (شكل ٢٩٣)، وكانت متبوعة بفترة بحيرية راحت توضعاتها تمتد نحو الجنوب، باتجاه نهر اللوار، وتمثل طابق شاتّـي أو **الشطي** **Chattien (Helix Ramondi)** وطابق **الأكيتاني** **Aquitanien (Helix auralianensis)** (صخر بوس Beauce الكلسي) .



شكل ٢٩٣ ــ العلاقات بين رمال Etampes (ستامبي Stampien) وبين صخور كلس بوس Beauce في ضواحي مدينة إيتامب Etampes. ويكشف الشكل بوضوح عن وجود كثبان أوليغوسينية قديمة (يشير اللون الأسود إلى طبقات لاغونية (عن H.Alimen) .

ب ــ ملحقات حوض باريس

أ ــ **انكلترا**: ويكون التموليتي فيها متمركزاً في حوضين هما: حوض لندن في الشمال، وحوض همشاير في الجنوب، اللذين يكونا حالياً منفصلين بمحدب فيلد weald، والذي كان خلال الحقب الثالث عائماً، بحيث لا يكون تاريخ الحوضين متماثلاً وأن الأوليغوسين لا يكون معروفاً في حوض لندن. ويبدأ التموليتي هنا مبتدئاً بطابق الثانيتي Thanétien الطاغي (شبه جزيرة ثانية Thanet) والمؤلف من رمال غلوكونية. ويبدو السبارناسي هنا ممثلاً بسحنتين: أجاجية Saumâtre في الشرق (**طبقات وولويش Woclwich** = غضاريات وليغنيت السواسونّي Soissonnais)، وقارية في الغرب (طبقات **ريدينغ** = غضار لدن)، ولا نجد في حوض همشاير سوى السحنة الأخيرة.

ويكون الإيبريسي Yprésien ممثلاً بغضاريات طغيانية **(London Clay)** في الحوضين، غير أن اللوتيسي لا يبدو هنا إلّا على شكل بضعة سافات من رمال غلوكونية ذات **Nummulites laevigatus** (قاعدة **طبقات براكلشام Bracklesham**)، التي تصبح قارية في قسمها العلوي. ويعرف الطغيان الجديد بالبارتوني Bartonien، مع **Nummulites variolaris**، وفي القمة بطبقات براكلشام. وحصل خلال اللودي Ludien عوم جديد في حوض لندن، في حين راحت تتوضّع في جزيرة وايت whight وفي بارتون Barton غضاريات ذات **Nummulites Prestwichianus**.

ولا يوجد الأوليغوسين إلا في جزيرة وايت حيث يؤلف مركّباً من طبقات تختتم بمارنيات ذات **Ostrea cyathula** ذات وشائج قربى ستامبية.

ب ــ **بلجيكا**: ويبدأ فيها الإيوسين بطف Tuffeau [1] سيبلي Ciply الذي يحزّز الحوار المايستريختي، ويكون ممثلاً بصورة جيدة في ضواحي مدينة مون Mons، حيث اتخذ كنمط للمونتي Montien، وهو طابق سبق أن عثر عليه مع المستحاثات ذاتها في الحوض الباريسي.

---

(١) tuffeau صخر كلسي يحوي على حبات كوارتز وميكا ويستخدم في البناء رغم قابليته للانفراط.

هذا ويكون اللاندیني Landénien الأسفل (Thanétien) ممثلاً برمال و **بجوّار لاندن Landen الطّفي** ذي وحيش رمال براشو، ويكون اللاندينـــي الأعلى (Sparnacien) قارياً، كما في حوض باريس.

وتطابق الإيبريسي Yprésien **غضاريات الفلاندر**، وهي سحنة بحرية عميقة ممثلة بصورة طيبة في ضواحي مدينة إيبر Ypres، مثلما تطابق اللوتيسياني رمال وصخور رملية مطابقة فقط لقاعدة الطابق (بروكسلي Bruxellien).

ويكون البارتوني طغيانياً ورملياً (رمال ذات **Nummulites variolarius** في مدينة **Lede = Lédien**) وكذلك اللودي Ludien (**رمـال ويمّـل Wemmel** ذات **Nummulites wemmelensis** = ويمّلي Wimmélien).

ويكون الأوليغوسين طغياناً على نطاق واسع. ويتألف عند القاعدة من **رمال وغضاريات Tongres** (= Tongrien) العائدة للسانّوازي، الذي يصبح أجاجاً في قسمه الأعلى. ثم تأتي غضاريات بوم Boom، وهي تكوين بحري طاغ يمثل الستامبي (= Rupélien). وتنتهي الزمرة برمال الشطّي Chattien التي لا تتجاوز جنوبي مدينة لياج **Liège**.

جـ ـــ **بريتانيا**: لم تتجاوز بحار حوض باريس مصب نهر السين في اتجاه الغرب وتكون حافة بريتانيا الشرقية متميزة بتكوين قاري، هي **صخور سابالیت Sabalites الحثيـة** بجوار مدينـة آنجيـه Angers، والمغطـاة بصخـور كلسيـة ذات **Limnea longiscata**. وإلى الشمال من ذلك نجد في شبه جزيرة كوتنتان Cotentin آثـاراً بحريـة، تلك هي الرمـال أو الفالـون Faluns ذات Cérithes و Orbitolites (Lutétien)، وتكون هنا أيضاً مغطاة بصخور كلسيـة ذات **Limnea longiscata**. ويغلب على الظن أنه عن طريق ذلك البحر، الذي كان عبارة عن بحر مانش حقيقي، انتقلت المؤثرات الجنوبية إلى الحوض الباريسي.

د ـــ **ألمانيا الشمالية**: لقد قام ذراع من بحر الشمال بتغطية ألمانيا باتجاه الجنوب والشرق حتى الكتل القديمة على أثر الطغيان الكبير الأوليغوسيني. وفي خلال

الإيوسين ظل البحر منحصراً في الشمال (سكانيا، الدانمارك)، بحيث أن أوائل توضعات ذلك العصر (مونسي Montien) ظلت فيها بحالة استمرارية مع توضعات الداني Danien . أما في المناطق الأخرى فقد ظل الإيوسين قارياً . وعلى نقيض ذلك تكون زمرة الأوليغوسين البحرية في ألمانيا متميزة جداً .

هذا ويكون الساتّوازي (= Lattorfien) ممثلاً بصورة جيدة في بلدة لاتّورف Lattorf ، في شمالي إقليم ساكس، تلك هي رمال غلوكونية شديدة الغنى بالمستحاثات ذات فلسيات صغيرة، ترقد فوق طبقات الليغنيت الإيوسينية . وتكون قاعدة هذا الطابق، على ساحل بحر البلطيق في بروسيا الشرقية، مؤلفة من رصيص ذي جلاميد من العنبر (راتنج مستحاث مع حشرات) .

ويكون الستامبي (= Rupélien) طغياناً ويظهر بحالة استمرارية مع السانوازي، ويبدو شديد السماكة ومُمَثّلاً على الخصوص بغضاريات زرقاء ذات Septaria (كرات كلسية متشققة، **Septarienton**) تتحول إلى رملية فوق حافات الحوض (**Meerssand**) . ويكون الوحيش غنياً جداً، هو وحيش رمال فونتينبلو ذاته .

وفي الأعلى لا يشتمل الشطّي Chattien (Cassélien) إلّا على رمال ناعمة غلوكونية وغنية جداً بالمستحاثات . وقد نفذ البحر الأوليغوسيني إلى حوضماينس Mayence عن طريق منخفض هس Hesse وذلك خلال الستامبي فقط والذي يكون بالتالي طغيانياً ويتمثل هنا أيضاً بسحنتيه، العميقة (Septarienton) والساحلية (Meerssand) . وتكون السحنتان فيه متنضدتين في مركز الحوض، ولكن عند اقتراب تكوين Meerssand من الساحل يكون قد اجتاح كل الزمرة (مكمن مستحاثي بديع في Azelay قرب ماينس) . ويأتي الشطّي فوق الستامبي ويضم طبقتين، ففي القاعدة تظهر الصخور الكلسية ذات Cérithes ، وفي القمة صخور كلسية ذات Hydrobies (= صخور كلسية ذات Littorinelles) وهو تعاقب يشير إلى تناقص واضح في ملوحة مياه الحوض .

جـ ـ الإيوسين القاري والأوليغوسين الماهج في وادي الرون وأحواض الانكباس

أ ـ **الإيوسين القاري**: وهو ذاك الذي توضّع فوق الأراضي العائمة المحصورة بين خليج بحر الشمال وخليج آكيتانيا والبحر الألبي. ويجدر التنويه بالسحن الثلاث التالية:

١ً ـ سحنة **الرمال أو الغضاريات المقاومة للحرارة réfractaires**، وهي نتاج التأكلس أو فساد الصخور الكلسية أو المتبلورة، المزحزحة والهزيلة وفي أكثر الأحيان متكدسة بصورة فوضوية للغاية في منخفضات القاعدة. وتكون هذه السحنة شديدة الانتشار في وادي الرون وفوق حافة السلاسل شبه الألبية، حيث أمكن تأريخها بفك حيوان **Lophiodon** في منطقة إيشيل Echelles (Chartreuse).

٢ً ـ **السحن السيديروليتية Sidérolithique** أو **سحنة التربة الحمراء Terra rossa** التي تنتج عن الفساد السطحي لصخور الكلس، والتي تكون مؤلفة بالأساس من غضاريات حمراء ذات تخثرات حديدية، ويعثر عليها على الخصوص في شقوق صخور الكلس في جبال الجورا(*).

٣ً ـ السحنة العادية **لصخور الكلس البحيرية والمارنيات** وتصادف في حوض إيكس Aix: فتأتي فوق الصخور الكلسية الروناسية rognaciens غضاريات فيترول حمراء قانية (Vitrollien) ذات التناوبات مع صخور الكلس البحيرية والمحتوية على مستحاثة **Physa montensis**، وهي نوع من صخور مون Mons. ويأتي من فوقها مركّب من صخور كلسية بحيرية تمثل كل الطوابق الأخرى حتى اللوتيسياني (**Planorbis pseudoammonius** في القمة).

(*) ونعثر على جيوب منها في سينوني جبل قاسيون وفي كلس جبل طويق الجوراسي.

ب ــ أوليغوسين لاغوني ــ بحري في حفر الانكباس وفي وادي الرون:
وهو الذي يصادف على الخصوص في الألـزاس وفي مناطـق ليمانيـا Limagnes وفي أحواض نهر الرون.

ويكون هذا الأوليغوسين مشتهراً بالألزاس بمكامن البترول وبأملاح البوتاس، وهكذا يكون معروفاً على الخصوص نتيجة عمليات السبر. وبعد أن يكون سميكاً جداً ومارنياً ــ كلسياً في مركز الحوض، يكون مؤلفاً على الغالب من رصيص عند حافة الحفرة ولا سيما على طول الصدع الريناني (سواحل قديمة). ويرقد في بعض النقاط فوق إيوسين قاري يتكـشّـف خاصة في بوكسويلر Bouxwiller في ميدان كسور سافرن Saverne (كلس بحيري ذو **Planorbis pseudoammonius**). ويتمثـل السانـوازي اللاغوني ــ البحري بمركّـب مارني وكلسي **لطبقات بشلبرون Péchelbronn**، في شمالي ستراسبورغ، والذي يكون حاوياً على البترول المستغل حالياً.

هذا ويشتمل الطابق ذاته، في الجنوب، بضواحي ملهوز، على تناوبات من جبس، والملح الصخري، ولا سيما أملاح البوتاس المستغلة بشكل نشيط. ولم يستطع البحر الذي رسّـب هذه الطبقات أن يأتي من حوضماينس، لأن السانوازي يكون فيه مجهولاً، بل يوجد بالأصح إلى الجنوب من ذلك (شكل ٢٩٢) (منطقة لاغونات وادي الرون والساؤون، وحتى منطقة البحر البريئالبي ذاتها). ويكون الستامبي بحرياً صريحاً (مارنيات ذات منخربات وشيست ذو أسماك) وهو يشهد على وجود اتصال مع بحر ماينس ومع البحر الألبي (وجود أسماك رومية «متوسطية» مثل **Maletta** و **Amphysile**). وتقوم مارنيات وصخور كلسية بحيرية ذات **Hélix Ramondi** باختتام هذه الزمرة.

أما في ليمانيا فقد كانت تتوضع، خلال الحقبة ذاتها، آركوزات arkoses ذات وحيش بحري يمثل السانوازي أعقبها مركّـب من مارنيات ذات **Cypris**، ومن آركوزات ومن صخـور كلسيـة مارنيـة شديـدة السماكـة ذات **Potamides Lamarcki**، مما يستدعي وجود اتصالات مع البحر الستامبي لحوض باريس. ثم تأتي الطبقات البحيرية ذات **Hélix Ramondi** وأنابيب Phryganes العائدة للشـطّـي Chattien والذي تحوي

قمته على وحيش بديع في موقع Saint-Gérard-le-Puy (آكيتاني) ، الشهير ببقاياه من الطيور .

وأخيراً تعرض منطقة وادي الرون عدداً من الأحواض (حوض Alés ، وحوض مرسيليا ، وحوض Aix ، وحوض Forcalquier) يظهر فيها ، من فوق الإيوسين القاري ، أوليغوسين سميك جداً وكامل ، ويظل دوماً لاغونياً ــ بحيرياً . هذا وتظل الطبقات الستامبية « لمجموعة إيكس Aix » ذائعة الصيت لغناها بالمستحاثات البديعة (أسماك ، حشرات ، نباتات) ، في حين تشتهر طبقات Forcalquier-Manosque بطبقات الليغنيت والشيست الحمّري ، وأخيراً يتمثل طابق الشطّي بضواحي مرسيليا بغضاريات سان هانري الحمراء ، التي قدمت بقايا ثدييات وتستغل لصنع الغلايين ومنتجات السيراميك .

ولنضف إلى ذلك أن البحر قد عاد بعد الانحسار الشطّي ، وذلك على طول الساحل الرومي « المتوسطي » كي يوضّع تكوينات مارنية أو رملية ذات قواقع مميزة **(Melongena Lainei)** للوحيش الاكيتاني النموذجي لإقليم آكيتانيا (مكامن رويه دو كاري Rouet-de-Cary ، ومكامن Sausset قرب مرسيليا ، وضواحي مونتبيلييه) .

د ــ نموليتي حوض آكيتانيا

لقد تحول الخليج الكريتاسي الواقع بين البيرينيه والبروفانس خلال النموليتي إلى خليج آكيتاني دائم الارتباط بالمحيط الأطلنطي والذي ترسبت فيه تكوينات سميكة غنية جداً بالمستحاثات ، مثلما تكون غنية بالفلسيات على الخصوص (شكل ٢٩٠ ، ٢٩١ ، ٢٩٢) .

ونجد التكوينات المذكورة على طول كل الحاشية الشمالية لجبال البيرينيه ، وذلك حتى في إقليم لانغدوك ، غير أن الانكشافات تكون فيها محدودة ومقّنعة بصخور أحدث في المنطقة المحورية من الخليج . وتبدأ الزمرة في منطقة بوردو بالإيبريسي Yprésien ، ولكنه لا يشكل سوى مزق نادرة من حث ذو

Nummulites Planulatus-elegans وسنخيات **Alvéolines** . والطبقة الأكثر انتشاراً هي اللوتيسياني ، مع صخر كلسي نظير للصخر الكلسي الباريسي الغليظ ، والذي يدعى هنا **صخر كلس بلاي Blaye** ذو الفلسيات و **Orthophragmines** . ويبدأ البارتوني بمارنيات ذات **Nummulites variularius** ولكنه يختتم بصخور كلسية بحيرية ذات **Limnea longiscata** . وتكون عودة البحر معروفة من وجود مركبات لودية ــ سانوازية (صخر كلس **سان استاف** ومارنيات ذات محارات) والتي تتحول في اتجاه الشرق إلى **مولاس فرونسادية Fronsadais البحيري** . وقد استمر الطغيان البحري خلال الستامبي : مارنيات ذات **Ostrea longirostris** ثم **صخور كلسية ذات Astéries** مع **Nummulites Vaseus-Boucheri** و **N.intermedius** ، ثم ينقطع بدءاً من الشطي (**صخور كلس البيضاء Agenais** ذات **Helix Ramondi** و **Limnea pachygaster**) . ويكون الآكيتاني الذي يغطي هذا التكوين بحرياً من جديد (**فالون Faluns وصخر حث بازاس Bazas** ذو أخينوسات أو القنفذيات **Oursins** مسطحة ، ومارنيات ذات **Ostrea aginensis**) ، ولكن تعود السحن لتصبح بحيرية في اتجاه الشرق (**صخور Agenais الكلسية الرمادية**) .

أما في منطقة شمال البيرينيه ، فقد كان محور الخليج القديم يمر إلى الجنوب قليلاً من مدينة بو **Pau** وهنا يتم الانتقال من الكريتاسي إلى الثلاثي بواسطة سحن بحرية (زمرة **Thanétien-Lutétien** مع فلسيات) .

وهناك مقطع مشهور هو مقطع الساحل الجنوبي للخليج القديم ، الذي يظهر على طول الساحل ، إلى الجنوب من مدينة **Biarritz** . ويبدأ الثالثي فيه باللوتيسي ، الطاغي فوق الحوار وهو يتألف من سحن مارنية ذات فلسيات ، **Orthophragmines** ، و **Assilinés** و **Pentacrines** ، ويستمر المقطع حتى الستامبي . ونعثر على بعض الثموليتي الذي يتكامل من قاعدته ، حتى داخل منطقة **Ariège** . وهنا تبدأ الزمرة أحياناً بالثانيتي **Thanétien** ويستمر بسحن بحرية ذات فلسيات و **Alvéolines** و **Lithothamnium** حتى في اللوتيسياني الأسفل ، وتختم الزمرة في سائر الأنحاء بتكوين مشهور هو **بودينغ بالاصّو Palassou** الموافق للإيوسين الأعلى والذي تشكل خلال

آخر مرحلة من الالتواءات البيرينية، ذلك لأن الأوليغوسين المتنضد فوقها لا يكون ملتوياً. ويظهر في منطقة les Corbières الساحل الشرقي للخليج القديم ويتمثل فيه النموليتي بتناوبات من سحن لاغونية، وبحيرية وبحرية ذات Cérithes. أما في حالة الحافة الشمالية من الخليج، فتكون معروفة كلياً بطبقات قارية طاغية نحو الشمال وسميكة جداً (صخور حث مولاسية وصخور كلسية بحيرية) تتحول باتجاه الجنوب إلى بودينغ Palassou. ويسمح وجود وحيشات بديعة من الفقاريات بأن نميز فيه الطوابق التالية: لوتيسياني (حث ايسّل issel ذو **Lophiodon**)، بارتوني (مولاس Lautrec و Castelnaudary)، لودي (جبس Mas Sainte-Puelle)، سانّوازي (مولاس وصخور كلسية بحيرية ذات **Melania albigensis**)، ستامبي (مولاس Lauragais و Agenais). هذا في حين يستمر الشاتّي ـــ الاكيتاني (صخر كلس Agenais الأبيض، ومارنيات ذات **Ostrea aginensis**، وصخر كلسي رمادي بحيري لمنطقة Agenais) أقول يستمر حتى في داخل منطقة بوردو. وكانت البحيرات التي توضّعت فيها هذه المولاس والصخور الكلسية واقعة عند أقدام القوس Causse الكلسي لمنطقة كيرسي Quercy والذي تراكمت في شقوقه منتجات التأكلس التي تهيأت لأن تصبح تلك **الفوسفوريت** الرائعة لمنطقة **كيرسي** الوفيرة الغنى بمكامن اللبونات الأوليغوسينية.

وعلى الجانب الآخر من جبال البيرينيه؛ أي في اسبانيا، فيمكن العثور على نموليتي قاري على الغالب ولاغوني في حوض نهر الإيبر Ebre وملحقاته. ويبدأ في قطالونيا، مثلاً، بالإيوسين الأسفل البحيري، ثم بصخور كلسية ذات سنخيات Alvéolimes، وبمارنيات ذات فلسيات تشير لقدوم البحر اللوتيسي، وتنتهي أخيراً الزمرة ببودينغ Montserrat، النظير لبودينغ Palassou على الجانب الفرنسي، والذي يرقد فوقه أوليغوسين لاغوني مع مكامن غنية بالبوتاس في Cardona. هذا ولا يكون الأوليغوسين النقي معروفاً إلا في جبال الكانتابيريه Cantabriques (طبقات ذات فلسيات صغيرة و Lépidocyclines)، ولكن سبق أن أشير في الميزيتا Meseta (أحواض القشتالتين) لوجود الأوليغوسين ذي **Potamides Lamarcki** حتى كثيراً باتجاه الجنوب.

هـ ــ الخلجان التموليتية الصغرى في بريتانيا

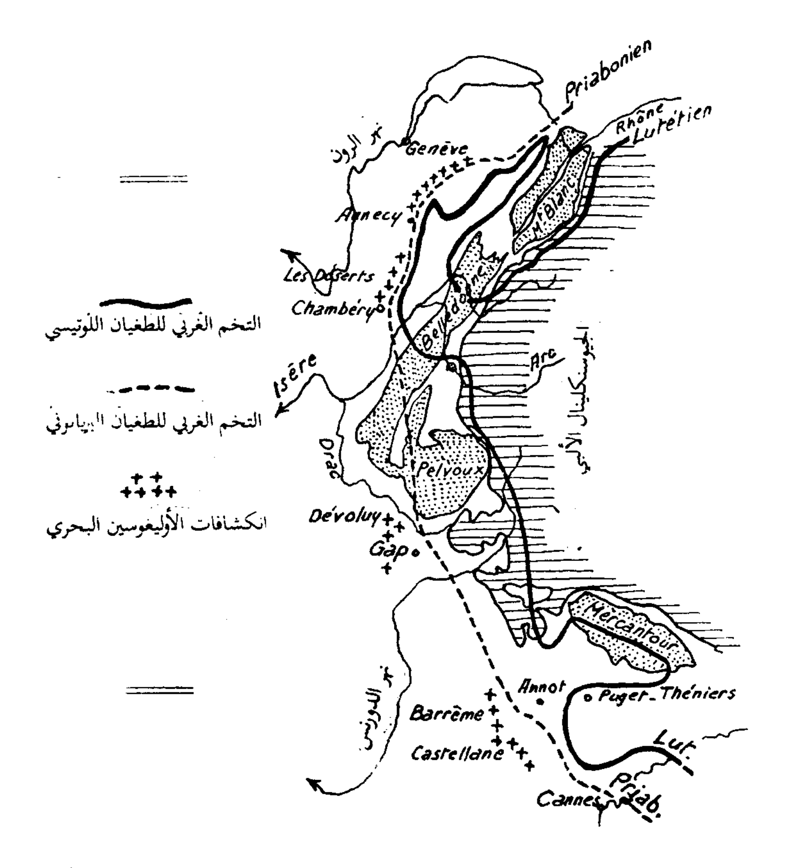
وقد كانت هذه الخلجان عبارة عن ملحقات لبحر المانش التموليتي (الذي كانت تنفذ بواسطته العناصر الوحيشية الجنوبية إلى الحوض الباريسي، كما سبق ورأينا). وقد عثر على الآثار البحرية لهذه الخلجان في منطقة موربيهان وفي عرض البحر تجاه Gâvres (سبر تحتاني). ولكن نصادف فوق ضفتي نهر اللوار الأدنى، وذلك مباشرة فوق الأراضي القديمة، نصادف أجمل المكامن، والتي تكون أكثرها معرفة مكمن Bois Gouët (رمال لوتيسيانية ذات وحيش مختلط، رومي وباريسي). ويكون البارتوني ممثلاً بصخور كلسية بحيرية في حين لا يكون السانّوازي معروفاً. وابتداءً من الستامبي تشكل طغيان بحري جديد أدرك مدينة Rennes (كلس رين Rennes الغليظ ذو وحيش رمال فونتينبلو). ويشير الشـطّي Chattien أخيراً لعودة للنظام اللاغوني (صخور كلسية ذات Potamides و Planorbes).

و ــ تموليتي المقعر الأرضي الألبي

كان يوحد خلال القسم الأعظم من الباليوسين مقعر أرضي، وهو تركة ضامرة عن مقعر أرضي كبير كريتاسي، والذي أظهر J.Boussac، وذلك من خلال تأليف كلاسيكي، أن التوضعات تكون طغيانية بالتعاقب في اتجاهي الشمال والغرب؛ أي من داخل السلسلة الحالية نحو خارجها (شكل ٢٩٤ و ٢٩٥). وهكذا سنعثر إذن على تشكلات قارية (رمال وغضاريات، مقاومة للنار réfractaires) عند حافة المقعر الأرضي خلال كل الإيوسين. ومن ثم وفي حالة الاتجاه نحو داخل السلسلة، ندخل في مجال التوضعات الأجاجية، ثم البحرية.

وأول نطاق نقع عليه هو مجال الأوليغوسين الأجاجي والبحـري الحولألبـي Périalpin، الذي يشكل، فوق الإيوسين القاري، قاعدة المركـبات المولاسية (نطاق مولاسي) بين جبال الجورا وجبال الألب (حث مولاسي ذو Cyrènes، Potamides، و **Hélix Romondi**) أو أحواض صغيرة بحرية في المقعرات الأرضية للطيات شبه الألبية

الأكثر تطرفاً (حث ذو فلسيات وكركدنيات Rhinocéridés الصحـــاري قرب Chambéry ، و Dévoluy ، وكاستـلّان و Barrème) . وفي هذه الفترة كان البحر قد غدا مطروداً من النطاقات الداخلية نحو خارج السلسلة ، التي عامت مجدداً ، كي تشكل ذراعاً بحرياً ضيقاً من البحر الحولألبي .



شكل ٢٩٤ ــ الطغيانات الثوليتية على طول الحافة الغربية للمقعر الأرضي الألبي(١) .

---

(١) استناداً إلى دراسات بوسّاك J. Boussac وموريه L.Moret والمذكرات الحديثة التي قام بها كل من J. Flandrin ، A. F. de. Lapparent ، J. Claret ، J. Signal (تقرير أكاديمية العلوم مجلد ٢٣٨ ص٢٦١ في ١١ كانون الثاني ١٩٥٤) بخصوص خليج Puget-Théniers ، و L. Moret (دراسات مخبر غرينوبل الجيولوجي ، مجلد ٢٩ ، ١٩٥٢) فيما يتعلق بخليج Bauges-Bornes (الخليج السافوي) .

هذا وفيما وراء نطاق السلاسل شبه الألبية Subalpines تأخذ الزمرة النموليتية، التي راحت تفتقر بالمستحاثات باتجاه الأعلى (تلاشي الأوليغوسين تدريجياً) تأخذ بالاغتناء بالمستحاثات من قاعدتها على أثر ظهور Priabonien، الطاغي فوق الركيزة الكريتاسية، والذي قد يكون أحياناً راقداً مباشرة فوق الصخور المتبلورة، كما في جنوب كتلة بلفو Pelvoux.

ويكون البريابوني Priabonien هذا مؤلفاً، من قاعدته، من طبقات ذات **Cerithium diaboli**، تكون أحياناً حاوية على الليغنيت، ثم تأتي بالتعاقب، صخور كلسية ذات فلسيات صغيرة **(Nummulites Fabianu, N.Striatus)** و Orthophragmines، ومارنيات أو شيست زرقاء شديدة السماكة، وحث بركاني فتاتي Pyroclastique (حث Taveyannaz، و Champsaur و Annot) التي تختم الزمرة.

وتظهر طبقات أكثر قدماً، تشتمل على فلسيات كبيرة **(Nummulites perforatus)** وأحياناً على سنخيات Alvèolines، تظهر في بعض المناطق شبه الألبية في قاعدة المجموع السالف الذكر (الثلاثي البريابوني Triologie priabonienne)، والتي تجب نسبتها إلى اللوتيسي. وتظهر هذه الطبقات للعيان في إقليم السافوا حيث تكاد تبلغ حافة السلاسل شبه الألبية قرب آنسي Annecy (الخليج السافوي)، ثم تظهر إلى الجنوب من ذلك قرب كتلة Mercantour (خليج Allos) وأخيراً في جنوب الكتلة المذكورة (خليج Puget-Théniers الكبير) (A.F.de Lapparent). هذا ويكون البريابوني Priabonien واللوتيسي. في السافوا، منفصلين عن بعضهما بطبقات بحيرية ذات مستحاثات لوتيسية من السحن المتوسطية (الرومية) (**Bulimus Subcylindricus** و **Limnea Michelini** في منطقة Roc de Chère، وبحيرة Annecy)؛ أي كان الطغيان اللوتيسي متبوعاً إذن بانحسار طفيف (L.Moret).

وعلى العكس من ذلك، يتم الانتقال من طابق لآخر، في الجنوب، بصورة مستمرة بواسطة طبقات بحرية.

وعند اجتياز الكتل الجبلية المتبلورة، نعثر على النموليتي في غطاء هذه الكتل

وذلك على طول حافة جبل Pelvoux الشرقية (بريابوني طاغ حتى فوق المتبلور Cristallin) وفي إقليم Maurienne، في سلسلة Aiguilles d'Arves حيث يبدأ البريابوني، الذي يكون طاغياً بدوره، بحث شديد السماكة والذي تم تكييف هذه القمم في صخوره. إذن كانت هناك منطقة طافية كبيرة تفصل، في العصر اللوتيسي، الخليج السافوي عن الخلجان الجنوبية، وهو نطاق لم يسبق له أن تغطى إلا في فترة الطغيان البريابوني.

وإذا ماتوغلنا في جبال الألب إلى بعد أكبر (شكل ٢٩٥) فإننا سندخل في مجال النطاق الداخلي حيث تصبح سحنة النموليتي مختلفة جداً. ذاك هو الفليش. ويكون هذه المرة تجاه زمر سميكة شيستية — حثية ورصيصية، تكون كلسية أحياناً والتي تتخذ، ذلك حسب هيمنة أحد هذه التكوينات، اسم فليش أسود (شيست أسود لمّاع)، فليش حُثّي، فليش كلسي (صخور كلسية صافية ذات منخربات بحرية عميقة «بيلاجية»). وقد أمكن في النطاق شبه البريانسوني وصف محلي (Embrunais-Ubaye) لانتقال مستمر من الكريتاسي الأعلى إلى الثلاثي، ولكن في سائر الأمكنة الأخرى، يكون الثلاثي ممثّلاً حصراً بالإيوسين، ويبدأ باللوتيسي الطاغي (صخور كلسية وبريشات ذات فلسيات في مكامن Embrunais-Ubaye و Montricher في السافوا). ويتميز نطاق Briançonnais في منطقة أغشية جرف عن تكوين سميك وشديد الالتواء كثيراً ماتكون رقائقه مغطاة بآثارٍ غريبة متعرجة تنسب حالياً لدروب معديات الأرجل. ولكن يكون فليش بريانسونيه في أغلب الأحيان هو فليش أسود، نتعرف في داخله، وذلك في نقاط نادرة، على بريشات ذات فلسيات و Orthophragmines.

ولأبعد من ذلك، في اتجاه الشرق، نتوصل أخيراً إلى المجهول عن صخور الشيست اللماعة، التي يجب أن نفترض فيها وجود شيء من الفليش الثلاثي. ولكن من المؤكد، باعتبار الطابع النموليتي، الذي يصبح أكثر سماكة واستحالياً، كلما اتجهنا نحو الشرق، إننا نكون هنا في المناطق المحورية من المقعر الأرضي الألبي القديم. فوجود الرصيص، الذي يكون أحياناً سميكاً، في هذه الزمرة النموليتية، يدل أن المقعر الأرضي

الألبي القديم. فوجود الرصيص، الذي يكون أحياناً سميكاً، في هذه الزمرة النمولیتیة، يدل أن المقعر الأرضي كان، خلال الفترات السابقة، مضرّساً بسلاسل جبلية (كورديللير).

ومن ناحية أخرى تدل وفرة التكوينات الحثّية (حث Taveyannaz و Annot، حث Embrunais العائد للفليش الحثي)، وذلك حوالي نهاية الإيوسين، تدل على وجود سلاسل عائمة مسبقاً والتي راحت أنقاضها تتكدس في مقدمة الحفرة avant-fosse الألبية. وهذا الردم السريع، وهو ترسب أوروجيني نموذجي، كان ينذر بالالتواءات القريبة الحدوث بدءاً من الأوليغوسين والتي سيطرد خلالها البحر نحو خارج السلسلة الجديدة كي يشكل الأخدود الحولألبي Périalpin الموصوف آنفاً. وسيتعرض هذا الأخدود الأخير للردم بأنقاض خشنة مقتلعة من الطيات النمولیتیة التي عامت مجدداً والتي كانت مؤلفة في معظمها من صخور حثية فتاتية بركانية. وستتكوّن رسوبات حثية مماثلة فيه، والتي يكون عمرها مختلفاً بالطبع.

شكل ٢٩٥ — منظر القعر الأرضي الحثي حوالي نهاية الإيوسين.
(ردم القعر الأرضي النموليتي)

ز ــ سحن أخرى نموليتية جيوسنكلينالية

أ ــ اسبانيا : يقدم التموليتي في السلاسل البطيقية bétiques وشبه البطيقية سحن الفليش. وكما هو الحال في جبال الألب لا يكون الإيوسين الأسفل معروفاً فيها وتبدأ الزمرة باللوتيسي الطاغي (صخور كلسية ومارنيات ذات فلسيات كبيرة و Orthophragmines) وتنتهي بأوليغوسين بحري عميق في معظمه (مارنيات ذات Globigérinidés وصخور كلسية وحث ذات Lépidocyclines) .

ب ــ ايطاليا : يقدم التموليتي في جبال الآبنين، وفي ليغوريا، وفي Ombrie، أيضاً سحنة فليشية ولكن الطبقة الوحيدة التي يمكن تشخيصها بمستحاثات هي اللوتيسي ذو الفلسيات، الطاغي فوق الكريتاسي. ويكون القسم الأعلى من هذا التموليتي مؤلفاً من فليش ذي Helmenthoïdes (بريابوني) أو بصخور حث مماثلة لصخور الحث الفرنسية في منطقة Taveyennaz و Annot والمسماة هنا **macigno** . أما في جبال آبنين منطقة Ombrie ومنطقة Marches ، فيبدو ، على خلاف ذلك، حدوث انتقال من الكريتاسي إلى الثلاثي بواسطة تكوين « سكاغليا Scaglia » وهو نوع من حوار يحتوي على منخربات كريتاسية **(Rosalina Linnéi)** في القاعدة، وفلسيات و Lépidocyclines في القمة .

جـ ــ جبال الكاربات : يختلف تاريخ المقعر الأرضي الكارباتي عن تاريخ المقعر الأرضي الألبي، فبينما كان المقعر الألبي يتفرغ من محتواه في الأوليغوسين بإبعاد البحر نهائياً نحو خارج السلسلة، فإن المقعر الأرضي الكارباتي كان يخضع منذ بداية الكريتاسي الأوسط لوضع مماثل بسبب التواءات غوسّو Gossau . ومن جهة أخرى كان الطغيان التموليتي ينتشر هنا حسب اتجاه معكوس بالمقارنة مع الطغيان الألبي ؛ أي من خارج السلسلة نحو داخلها .

وكما هو الحال بالنسبة لجبال الألب، نميز في جبال الكاربات عدداً معيناً من النطاقات الجيولوجية المتميزة من حيث عمر وطبيعة الصخور التي نصادفها فيها

وكذلك من حيث النمط التكتوني (شكل ٢٩٦). وهكذا يكون لدينا من الداخل نحو الخارج بالتعاقب ما يلي:

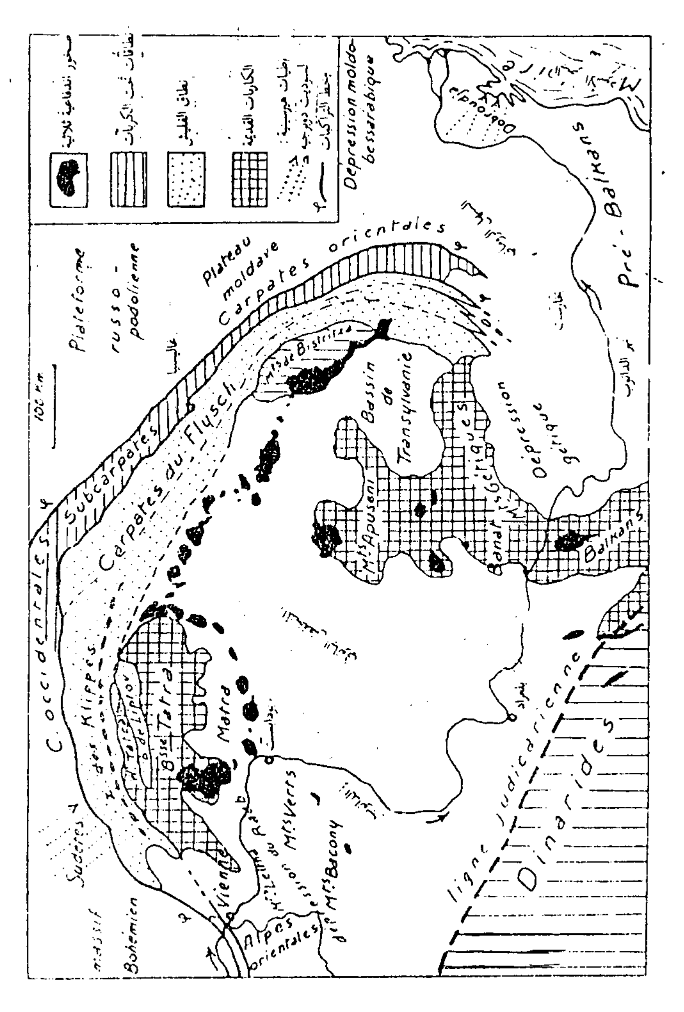
١ً ــ **الكاربات القديمة** (سلسلة داسيّة)، المؤلفة من صخور شيست متبلورة ومن صخور اندفاعية قديمة مع غطاء من صخور باليئوزوكية وميزوزوئية (ترياس، جوراسي، كريتاسي أسفل). تلك هي كسرات من السلسلة الهيرسينية تلقّفتها من جديد الحركات الكريتاسية الوسطى، تلك الحركات التي كانت عنيفة وأدت لتشكل أغشية جرف (أغشية شبه تاترية subtatriques). ويكون النموليتي طغيانياً (مثال: حوض Liptov) ويبدأ بحث وبصخور كلسية ذات فلسيات لوتيسية، وتستمر بطبقات ذات قوام فليشي وتنتهي بصخور حث (حث ماغورا Magura) الذي يحتمل أن يكون أوليغوسينياً.

٢ً ــ **نطاق الفليش**، ويتميز بمركّب شيستي ــ حثي شديد الالتواء (طيات ــ صدعية «فالقية»، حراشف) تعود لعمر سينوني ــ باليوجيني. ولكن هذا العمر يتزايد حداثة كلما كنا في منطقة خارجية أكثر؛ أي ملتوية في زمن أحدث. ويكون هذا النطاق مضرّساً، في تشيكوسلوفاكيا، بنطاق بقايا جرف Klippes ناتجة عن انحصار الأغشية شبه التاترية المحصورة بفعل الحركات الألبية بين كتل تاتراس المتبلورة وبين مقدمة البلاد avant-pays.

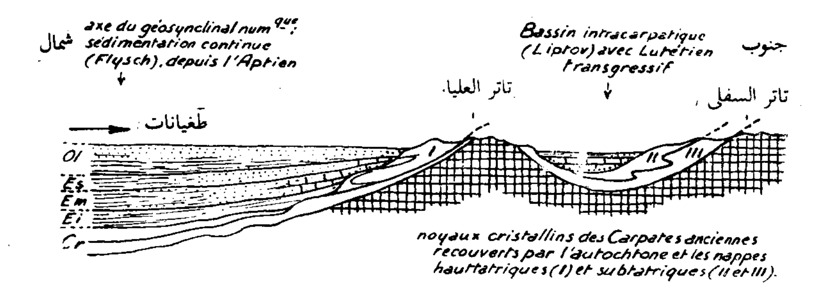
٣ً ــ **النطاق شبه الكارباتي**، والمؤلف بصورة جوهرية من صخور نيوجينية قليلة الالتواء. تلك هي الأرض المختارة للطيات الثاقبة diapirs ولمكامن البترول. ويلاصق هذا النطاق مقدمة البلاد (العتبة الروسية ــ البودولية، الهضبة المولدافية، السهول الرومانية).

وتكون كل هذه الوحدات مسكوبة فوق بعضها بعضاً في اتجاه خارج السلسلة، وتتميز كل منها، كما سبق ورأينا، بعمر وبسحنة الصخور الثلاثية. وفي الواقع ظل المقعر الأرضي الكارباتي يتحرك عند حاشية السلسلة خلال الثلاثي (شكل ٢٩٧) وكان الفليش يتكدس فيه منذ الكريتاسي الأعلى حتى الأوليغوسين

برمته . ولكن كانت ترتسم معالم طغيان عند حافة المقعر الأرضي خلال اللوتيسي وكان البحر يتسلل بين كتل الكاربات القديمة المتبلورة . وعملت الحركات الألبية ، بعد توضع الأوليغوسين ، على تعويم نطاق الفليش (الأعراف العليا من الكاربات الشرقية وأعراف الشمال الشرقي) مع نطاق بقايا الجرف Klippes فيه . وأخيراً أخذ النطاق شبه الكارباتي بالتفرد بدوره ومنح السلسلة معالمها الحالية .



شكل ٢٩٦ ــ الخارطة الجيولوجية والبنيوية لجبال الكاربات (عن J.P.Voitesti) .



شكل ٢٩٧ ــ توزع سحن الفموليتي في المقعر الأرضي الكارباتي . Cr = كريتاسي أعلى . Ei = إيوسين أسفل . Em = إيوسين أوسط (لوتيسي) . Es = إيوسين أعلى . Ol = أوليغوسين .

ح ــ الحافة الجنوبية للمقعر الميزوجي

أ ــ فيسنتان Vicentin : يمكن اعتبار النموليتي في تلال فيسنتان كتكوين الحافة الجنوبية للمقعر الألبي . تلك هي سحنة ساحلية ، غنية بالمستحاثات ، مع تناوب متواتر لمسكوبات بركانية . ويقتصر الإيوسين الأسفل فيها على السبارناسي والإيبريسي ، تلك هي **طبقات Spilecco** مع فلسيات مشابهة **لفلسيات Planulatus** . ويكون اللوتيسي ، الذي يكون أحياناً طغيانياً ، شديد الانتشار ، فعند قاعدته يتألف من **طبقات Monte Postale** مع **فلسيات Laevigatus** وهي طبقات تكون ، في Monte Bolca حاوية على وحيش وفير من الأسماك ، وتأتي فوقها **طبقات San Giovanni ilarione** وهي نوع من بريش بازلتي ذي فلسيات كبيرة . وينتهي اللوتيسي بمستحاثات Assalines والعديد من الرخويات وقنفذيات Oursins ، وأخيراً تأتي **طبقات رونكا Roncà** .

ويتمثل البريابوني **بطبقات Priabona** البادئة بساف ذي **Certhium diaboli** ومستمراً بمارنيات ذات **فلسيات Fabianii** وبريوبات أو حزازيات حيوانية .

هذا ويكون الأوليغوسين كذلك كاملاً وبحرياً بالكلية . ونذكر على الخصوص الستامبي **مع طبقات Castelgomberto** وهي عبارة عن رصيف حقيقي **من المدخات**

Polypiers حيث نعثر على وحيش من قواقع فونتينبلو، والاكيتاني مع **طبقات Schio** ذات الوحيش الغني من Lépidocyclines كبيرة و Oursins مسطحة.

ب ــ الجزائر وتونس: لا يغرب عن الذاكرة أنه حوالي نهاية الكريتاسي كان البحر يمتد فوق قسم كبير من افريقيا الشمالية (تونس والجزائر الشرقية) والصحراء الكبرى. ويتم الانتقال من الكريتاسي إلى الثلاثي، هنا، بمارنيات سوداء بحرية تمثل الداني Danien والمونتي Montien.

أما في المنطقة الصحراوية وعلى الخصوص في ضواحي مدينة تبسّة، في شرق الجزائر، وقفصه، في الجنوب التونسي، يكون الإيوسين الأسفل ممثّلاً بالطبقات الفوسفاتية الشهيرة، والمستغلة بصورة نشيطة جداً لأغراض زراعية (شكل ٢٩٨). ويأتي فوق هذه الطبقات صخور كلسية ذات صوان ومارنيات بيضاء، وبعدئذ صخور كلسية ذات فلسيات، ثم ذات Thersitées (معديات الأرجل الخاصة بأفريقيا الشمالية) وذات محارات **(Ostrea multicostata)** العائدة للوتيسي. وإلى الجنوب من ذلك يصبح اللوتيسي لاغونياً (جبس).

أما السحن الفوسفاتية، الغنية بأنقاض الأسماك، فقد كانت عبارة عن تكوينات ساحلية تتواكب حسب خط ممتد من الغرب للشرق للقيعان الضحلة المحدودة من الشمال بأخدود جنوب التل Sud-Tellien. وقد توضّعت في هذا الأخدود طبقات أكثر عمقاً: صخور كلسية مارنية ذات غلوبيجرين، وصخور كلسية سيليسية ذات فلسيات تسمح بالتعرف على الإيبريسي واللوتيسي.

وهناك مرحلة التوائية هامة، متبوعة بفترة حتية، عملت على انقطاع الترسب التموليتي في افريقيا الشمالية موقتاً: فقد عام حوض الصحراء الكبرى في نهاية اللوتيسي في حين أصبح الالتواء حثيثاً أكثر فأكثر نحو الشمال: فهناك الطيات الجورائية النمط jurassiens في جبل الأطلس الصحراوي والهضاب العليا، وطيات مرصوصة من الطراز الألبي في سلسلة التل. غير أن طبيعة الرسوبات في الحاشية الشمالية من افريقيا، بين عنابة ووهران، تقود للافتراض بأنه، منذ قبل اللوتيسي، كان هناك حاجز (أخدود

بحري عميق) كان يقوم بتحديد أخدود جنوبي التل في اتجاه الشمال **(J.Faindrin)** مما يفسر بذلك اختلاف الوحيشات.

وعندما نغادر السطيحة **plate-forme** وتوضعاتها القارية، فإننا ندخل في المقعر الأرضي الألبي.

وسنصادف في السلاسل الساحلية نموليتياً يبدأ باللوتيسي الطغياني (صخور كلسية ذات فلسيات كبيرة ولكن دون Thersitées) في اتجاه الجنوب، أعقبه ذاته، وذلك بعد مرحلة التوائية جديدة وحتّية بالفليش البريابوني **Priabonien** والذي راح يطفح فوق عتبة اللوتيسية التي سبق لنا الكلام عنها قبل قليل. ويكون هذا الفليش المعروف تحت إسم الفليش النوميدي **(Numidien)** مماثلاً للفليش الأسود في جبال الألب ويحتوي على عدسات من بريشات مجهرية ذات فلسيات صغيرة و **Orthophragmines** وطبقات سميكة من الحث (صخر نوميديا الرملي) ولا سيما في القمة، حيث تم مجدداً اكتشاف منخربات أوليغوسينية (سانّوازية).

وتدخلت بعد توضع هذا الفليش، وذلك حوالي نهاية السانوازي، التواءات جديدة في السلاسل الساحلية، التي انتصبت بصورة نهائية، وهكذا لا يترجم الطغيان الستامبي **(Dellysien)** عن نفسه إلّا بواسطة خلجان (الخليج التلي الجنوبي، الخليج الديلليسي، الخليج التونسي) والتي تحوي توضعاتها على فلسيات و **Lépidocyclines**.

وقد عملت مرحلة التواء جديدة بعدئذ على تعويم المنطقة وتوضّعت تكوينات قارية في سائر افريقيا الشمالية خلال الاكيتاني وقسم من الميوسين (أوليغو — ميوسين).

جـ — **المغرب**: وسنعثر هنا على مجال جيوسنكلينالي في الشمال، خلال النموليتي، وعلى مجال فوقاري **épicontinental** في الجنوب، حيث تحل مكان الفلسيات مستحاثات **Thersitées**. ويظهر المجال الأول في منطقة الريف، حيث يبدو أن الترسب كان مستمراً من الكريتاسي حتى الأوليغوسين ومتخذاً سحنة فليشية في أخدود ما قبل الريف، في حين نجد إلى الشمال أكثر من ذلك؛ أي في الريف، أن

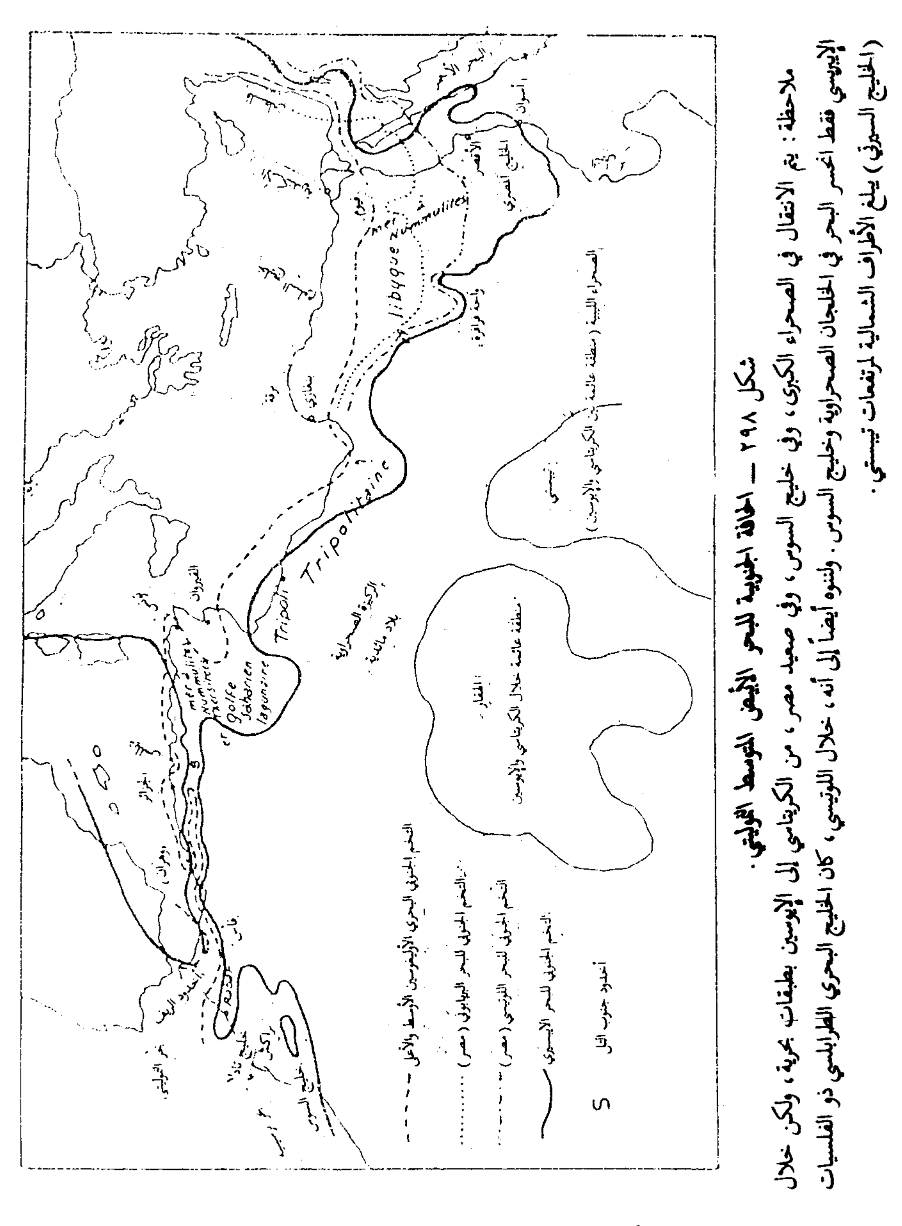
التموليتي يبدأ بلوتيسي طغياني فوق المارنيات الكلسية ذات Rosalines سينونية (مضاهاة مع التل وأخدود جنوبي التل (P.Fallot) .

أما المجال الثاني، المنفصل عن المجال السابق بعتبة الرباط، فهو مجال الميزيتا Meseta (خليج تادله) والسوس (خليج السوس) نظراً إلى أن هذين الخليجين يكونا، ذاتيهما، منفصلين بعرف عائم لجبل أطلس مراكش.

ونعثر هنا، وعلى الخصوص في تادله، على الطبقات الفوسفاتية عند قاعدة الإيوسين والتي يمتطيها سقف مؤلف من صخور كلسية ذات Thersitées والتي تكمل الزمرة. هذا وتكون الزمرة، في السوس وفوق السفح الجنوبي للأطلس الكبير، تكون مختلفة وقليلة الغنى بالفوسفات، ولكن هناك وحيشات متسليسة تسمح بتشخيص كل الإيوسين الأسفل والأوسط (طبقات ذات Thersitées (L.Moret) . وينتهي الثالثي، في كل المجال الأطلسي، بلحقيات alluvions الصدر piedmont سميكة قارية والتي تقابل، في الجزائر، للأوليغو ــ ميوسين.

د ــ **مصر**: ونكون هنا على حافة قارة الصحراء الكبرى ويعرض التموليتي نمطه الفوقاري épicontinental ويكون تاريخ هذا الخليج التموليتي بطغياناته وبانحساراته ذات السعات المتناقصة تدريجياً وبتبدلات سحنه، والذي درسه J.Guviller، خالياً من شبه بتاريخ حوض باريس في الحقبة ذاتها.

وفي أغلب الأحيان يبدأ التموليتي بالايبريسي الطاغي لأنه من النادر أن تمت ملاحظة وجود انتقال مستمر من الكريتاسي إلى الثلاثي (واحة الفرافرة). وتكون هذه عبارة عن طبقات كلسية ــ شيستية ذات **فلسيات Globulus** (تل طيبة في وادي الملوك) المعروفة تحت اسم ليبي Lybien. ويمتد هذا الخليج الايبريسي حتى أسوان في وادي النيل. ويشير ظهور مستحاثات **Orbitolites complanatus** في الطبقات المتنضدة لبداية اللوتيسي، وهو طابق يستمر مع صخوره الكلسية ذات الفلسيات الكبيرة جداً (طبقات المقطم) والتي استخدمها قدامى المهندسين المعماريين على نطاق واسع في مصر القديمة (الأهرامات)، والتي لا تتجاوز انكشافاتها خط عرض



شكل ٢٩٨ ـــ الحافة الجنوبية للبحر الأبيض المتوسط الثلاثي.

ملاحظة: يتم الانتقال في الصحراء الكبرى، وفي خليج السويس، وفي صعيد مصر، من الكريتاسي إلى الإيوسين بطبقات بحرية، ولكن خلال الإيوسي فقط انحسر البحر في الخلجان الصحراوية وخليج السويس. ولننوه أيضاً إلى أنه، خلال اللوتيسي، كان الخليج البحري الطرابلسي ذو الفلسيات (الخليج السرتي) يبلغ الأطراف الشمالية لمرتفعات تيبستي.

الأقصر. ويقابل الجزء الأعلى من طبقات المقطم للبارتوني (وجود فلسيات صغيرة مميزة) وتتناوب زمرة الفيوم النهرية ـــ البحرية في قمة هذا الطابق (مصب النيل القديم)

والذي ينتسب أيضاً للإيوسين الأعلى وللأوليغوسين. وتبدو هذه الزمرة شهيرة على أثر اكتشاف أجداد الخرطوميات (**Palaeomastodon** و **Maeritherium**).

ط ــ نموليتي أمريكا الشمالية

ويتوزع هذا النموليتي فيها في خمس مناطق تكون تقريباً هي ذاتها التي سبقت دراستها بالنسبة للكريتاسي. فعلى طول سواحل الأطلنطي لا يكون النموليتي واسع الانتشار ويشتمل على سحن مارنية أو رملية خالية من منخربات كبيرة ولكنها غنية بمعديات الأرجل وبذوات المصراعين الشديدة الشبه بمثيلاتها في الإيوسين الأوروبي. وهي سحنة فوقارية لحافة القارة الأمريكية الشمالية.

هذا ويكون النموليني في منطقة خليج المكسيك فوقارياً أيضاً، ويحتوي على وحيش غني بالفلسيات و Orbitoîdés. وقد أمكن التعرف هنا على اللوتيسي ثم على طبقات غنية جداً بالمستحاثات (كليربوني Clairbonien، غني بالرخويات) تعقبه طبقات ذات Orthophragmines ثم ذات Lépidocyclines تمثل الإيوسين الأعلى والأوليغوسين.

وقد أمكن العثور على نموليتي في جزر الآنتيل ذي منخربات كبيرة شبيهة جداً بالبليوسين في أوروبا، مما يستدعي وجود علاقات وحيشية ووجود ساحل متصل كان يربط جزر الآنتيل بالمناطق الرومية (المتوسطية) (الحافة الشمالية لقارة افريقية ــ برازيلية).

هذا وتتصف السلاسل الساحلية للمحيط الهادي ببليوسين سميك جداً، ذي سحنة جيوسنكلينالية وخال من الفلسيات ومن Orbitoîdés. وقد أمكن التعرف فيه على طبقات حاوية على النفط منذ مدة طويلة.

وأخيراً يكون النموليتي، في ولايات الوسط والتي لم تدركها الخلجان الباسفيكية والأطلنطية، يكون فوقارياً صرفاً ومؤلفاً من رمال، ومن غضاريات ورصيص تكون أحياناً غنية بالثدييات، مما يسمح بمقارنات مع أوروبا. وأكثر هذه المكامن معرفة هي

مكامـــــن Puerco (Montien-Thanétien) ومكامــــــن Torreon (Thanétien أعلى = وحـــيش Cernay) وفي وازاتش (سبارنـــــاسي) وفي وينــــــد ريفـــــر (إيبريسي — لوتـيسي) وفي Bridger (لوتـيسي ـ بارتـوني، وأخيراً مكامـن Uinta (Ludien).

الفصل العاشر

الصخور النيوجينية

١ ـــ صفات عامة

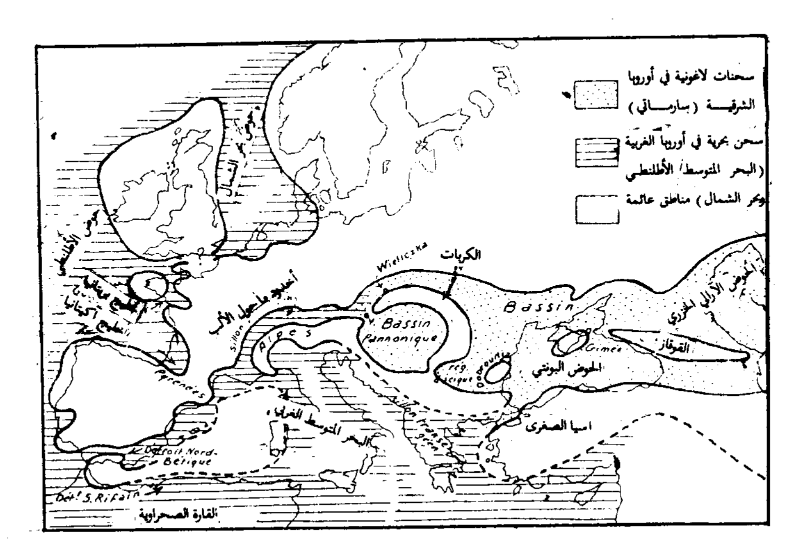
النيوجين هو الطابق المتوسطي (الرومي) الكبير لدى العالم Suess، والذي يشكل لاحقاً لانحسار نهاية الأوليغوسين. ويبدأ بطغيان ويمكن تقسيمه فرعياً إلى دورين رسوبيين: الميوسين والبليوسين، المنفصلين بانحسار جديد، ويختتم البليوسين ذاته بانحسار رد البحر لما دون مستواه الحالي ثم بفترة الحفر التي مهدت للرباعي.

ويكون النيوجين هو عصر النهوض النهائي للسلسلة الألبية، واختفاء قارة الأطلنطي، وتجزئة البحر الأبيض المتوسط، الذي راح يتخذ مظهره الحالي وانغلق من طرف الشرق، ولكنه ظل يحتفظ في الغرب باتصال مع الأطلنطي بمنخفضين: شمالي بطيقي؛ أي إلى الشمال من غرناطة وجنوب ريفي؛ أي جنوب جبال الريف في المملكة المغربية. وعن طريق هذين البحرين سيتسلّل إلى البحر الأبيض المتوسط عناصر وحيشية ذات أنساب شمالية (شكل ٢٩٩).

هذا وتكون ستراتيغرافية النيوجين دقيقة نوعاً ما لأن المنخربات الكبرى والفلسيات قد تلاشت. ولحسن الطالع راحت تكتسب الفقاريات، ولا سيما

الثدييات ، أهمية فريدة ويمكن اعتبارها كأجداد الأشكال الحالية . غير أن الوحيشات البحرية ، التي كانت على الخصوص قواقع فالون Faluns ، فلا يمكن استخدامها ، إلّا مكانياً ، لأنها تختلف من حوض لآخر . وهكذا فإن الوحيشات الأطلنطية والرومية التي تكون متشابهة إلى حدّ ما تختلف بشكل محسوس عن وحيشات بحر الشمال . وتتألف على الخصوص من Pectinidés تكون إلى جانب الآخينوسات « القنفذيات » Oursins المنبسطة (**Scutella** و **Clupeaster**) هي الأكثر استعمالاً في الستراتيغرافيا النيوجينية .

أما من وجهة النظر إلى وحيشات الفقاريات ، فنذكر أن الخرطوميات Proboscidiens ظهرت في أوروبا خلال البورديغالي وأن البليوسين الأعلى يتميز بقدوم أجناس **Elphas** ، **Bos** و **Equus** .



شكل ٢٩٩ ــ أوروبا حوالي نهاية الميوسين (أحواض بحرية ، لاغونية ، وأقاليم وحيشية) (نقلاً عن M.Gignoux مع تحوير بسيط) .

أما النبيت ، الشديد الشبه بالنبيت الحالي ، فلم يكن يختلف عنه إلّا بتوزع الأنواع ، وهكذا كان يوجد أشجار نخيل في فرنسا ، ولكنها كانت تجنح للهبوط في اتجاه الجنوب . وقد كان النيوجين هو العصر الكبير لانتشار النباتات ذات الأوراق النفضية ، مما يستدعي وجود فصول .

وقد أمكن، وذلك بالاستناد على كل هذه الصفات، وضع التقسيمات الفرعية التالية، وكلها من أصل رومي، والتي سنتابع فيها المكامن الرئيسة للثدييات المميزة:

البليوسين

كالابري (فيللا فرانشي قاري، نسبة إلى فيللا فرانكا داستي في منطقة بييمونت) (مكامن Saint-Prest قرب شارتر، ومكمن Perrier، قرب Issoire، ومكمن Saint-Vallier (Drôme) وفال دارنو في إقليم توسكانيا)[1].

آستي (رمال Asti الصفراء قرب تورينو) (مكمن مدينة مونبيلليه Montpellier)[2].

بليزانسي (مارنيات Plaisance الزرقاء) (مكامن Bresse و Roussillon).

الميوسين

ساحلي (مارنيات بحرية زرقاء نسبة لساحل مدينة الجزائر)[3] (= **بونتي Pontien** قاري) (مكامن Mont Luberon قرب مدينة Apt ومكامن Pikermi في اليونان).

فيندوبوني Vindobonien (ويقسم فرعياً إلى فيندوبوني علوي أو **تورتوني** مع السحنة الأجاجية **سارماتي Sarmatien** وفيندوبوني أسفل أو **هلفيسي Helvétien**) (مكامن Saint-Gaudens، و Simorre و Sansan و La Grive Saint-Albon).

بورديغالي Burdigalien (رمال منطقة أورليئان Orléanais).

ويكون للوحيشات في كل هذه الطوابق صفة لا تزال مختلفة جداً عن صفة

---

(١) هناك اتجاه حالي نحو ربط الفيللا فرانشي (ومكافئه البحري: الكالابري) بالرباعي وموازاته مع زحف Guntz الجمودي. وينصح بالرجوع إلى البحوث التالية عن هذا الموضوع M. Gignoux، البليوسين والرباعي البحريين في البحر الأبيض المتوسط الغربي (المؤتمر الجيولوجي الدولي، الجزائر ١٩٥٢، القسم XIII، جزء ١٥ ص٢٤٩) ودراسة J.Viret القيّمة عن ثدييات اللوس المتصلب في موقع Saint-Vallier (Drôme) (محفوظات متحف التاريخ الطبيعي في ليون، جزء رابع، ١٩٥٤).

(٢) تدعى السحن الأجاجية في أوروبا الشرقية خلال البليوسين **الشرقي Levantin** أو **بليوسين ــ خزري**.

(٣) هناك اتجاه للتخلي عن عبارة «ساحلي» الرديئة الشرح، لأنه يمثل، حسب المناطق، الميوسين أو البليوسين.

البحر الأبيض المتوسط الحالي. وإذا كنا نجد فيه بعض الأنواع الحالية، فإن الأخرى لا نعثر عليها في أيامنا إلّا في السنغال. وما علينا إلّا الانتظار حتى بداية البليوسين الأدنى كي يكون الوحيش البحري الرومي مكتملاً من حيث التشكل الكلي تقريباً ولن يختلف عن الحالي إلّا بوجود أنواع باردة أو موروثة من البليوسين القديم.

وتسمح هذه التوضعات، حتى الفيندوبوني الأعلى، بتعيين حدود بحر أبيض متوسط كبير يطيف بالسلسلة الألبية (المنخفض الحولألبي Périalpin). ولكن ابتداءً من الفيندوبوني الأعلى نشهد انعزال الجزء الشرقي من هذا البحر الأبيض المتوسط الذي تحول إلى بحر داخلي مع وحيش أجاجي خاص جداً (Cardiums, Congéries) راح يتطور محلياً، والتي تشكّل توضعاته طابقيْ السارماتي (نسبة لبلاد السارماتيين Sarmates في جنوب غرب روسيا) والبونتي (نسبة إلى Pont-Euxin أي البحر الأسود) (شكل ٢٩٩)[٤].

ويكون النيوجين معروفاً على الخصوص بتوضعاته الرومية، ولكن خلال كل هذه الفترة كان يوجد بحر شمال ضامر كان لا يبلغ حوض باريس أبداً وكان يتجاوز السواحل الحالية بشكل طفيف، وكان هناك محيط أطلنطي تكون توضعاته معروفة بواسطة خليجي بريتانيا وآكيتانيا.

٢ ــ التوزع الجغرافي للنيوجين

أ ــ **مجال بحر الشمال**: تكون التوضّعات النيوجينية في بحر الشمال مؤلفة بالأساس من رمال غلوكونية أو غضارية (صلصالية) تشتمل على وحيش بحري يختلف تماماً عن وحيش البحر الأبيض المتوسط. وهكذا لا تكون التزامنات مع الطوابق التقليدية، التي استحدثت في هذا البحر المذكور، لا تكون إذن مؤكدة إلى حد بعيد.

(٤) كان يستعمل منذ عهد قريب طابق Levantin ليس بصفته هذه، بل كسحنة تصبح حديثة أكثر فأكثر كلما تقدمنا نحو الشرق.

وقد كانت أوائل توضعات الطغيان النيوجيني عبارة عن رمال حث قوقعية يمكن نسبتها إلى الميوسين الأسفل والتي نصادفها في الدانمارك وفي ألمانيا الشمالية. ثم تقدم الطغيان خلال الميوسين الأوسط والأعلى فبلغ بلجيكا وهولندا (طابق بولديري Boldérien لدى الجيولوجيين البلجيكيين)، وتجاوز منطقة كامبين ووصل حتى آنفرس (الطابق الآنفرسي لدى البلجيك = ميوسين أعلى).

أما انكلترا فلم يغطها البحر إلّا في البليوسين وظلت بلجيكا مغمورة، في حين أخذ البحر ينحسر عن القسم الأعظم من ألمانيا ومن الدانمارك. ونذكر في عداد أهم تكوينات ذلك العصر رمال الفلاندر (Diestien) ورمال آنفرس الغنية بالمستحاثات (Scaldisien) وكذلك رمال وغضاريات كامبين (توضُّع estuarien =Amstélien). هذا ويحتوي تكوين **Coralline Crag** في منطقة سوفّولك على وحيش حار يختفي من **Red Crag** المتنضِّد، وتنتهي الزمرة بكراغ Crag نورويش Norwich نهري — بحري، الذي يضم وحيشاً مختصاً شمالياً ثم بتكوين **Forest bed** في منطقة Cromer، وهو تكوين مصب خليجي ذو أخشاب عائمة وفقاريات بليوسينية ورباعية (**Elephas méridionalis** و **Trogontherii** وأفراس البحر وكركدن) والتي تنسب عموماً إلى هذه الفترة الأخيرة[1].

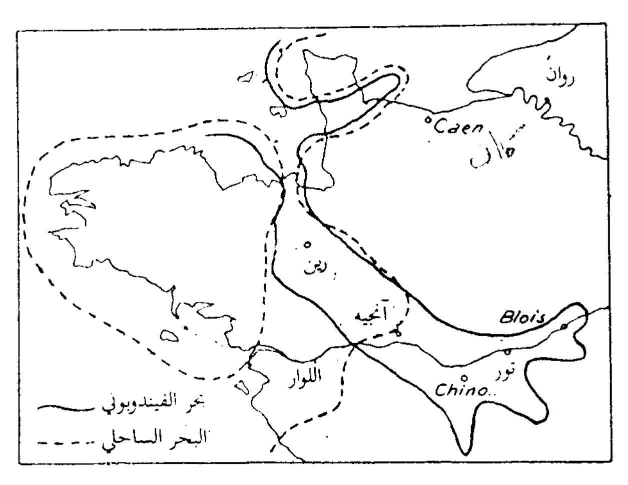
وتعود إلى بقايا غابات السرو التي كانت مزدهرة، فيما وراء الساحل، فوق مساحات مستنقعية واسعة في ألمانيا، تعود تلك التوضعات الليغنيتية، التي تشكلت خلال كل النيوجين في تلك المناطق.

ب — **الخلجان البريتانية**: لقد اجتاح البحر بريتانيا جزئياً خلال النيوجين، كما سبق وفعل خلال البليوسين ولكن في عصرين مختلفين: الأول يطابق الهلفيسي (Faluns إقليم تورين = Falunien)، والآخر وهو أقرب إلينا، فإنه يطابق الساحلي Sahélien (Redonien) (شكل ٣٠٠). وإذا كان البحر الفالوني خليجاً عميقاً والذي

---

(١) يظن أن هذه الطبقات قد سبق وتخلى عنها نهر كبير قادم من هولندا في فترة لم يكن قد تم حفر مضيق بادو كاليه بعد بواسطة الحت البحري.

كان يصل إلى Chinon مروراً من Rennes و Angers ، و Tours و Blois فإن البحر الريدوني كان يتجه، على العكس، باتجاه الجنوب ، ومع أنه كان يغطي منطقة نانت ، فقد كان يعزل تماماً منطقة آرموريك Armorique ، التي يعتقد أنها كانت تشكل جزيرة . وقد كانت وحيشات هذين البحرين مماثلة جداً للوحيشات الرومية (المتوسطية) .



شكل ٣٠٠ ـــ البحار الفيندوبونية (فالون *faluns* إقليم تورين *Touraine*) والساحلية في بريتانيا (عن G.F.Dollfus مع تعديل طفيف) .

جـ ـــ حوض آكيتانيا: لا تظهر التوضعات التي تخلى عنها البحر الميوسيني في هذا الخليج الكبير الآكيتاني إلّا على حاشيته . ففي منطقة الساحل الشمالي نشاهد الفالون الآكيتانية وهي مستمرة بفالون ذي وحيش بورديغالي **(Pecten burdigalensis)** مصحوب بسحنات مولاسية ذات **Léognan** . وتأتي من فوق ذلك تكوينات فالونية **Faluns** هلفيسية لمنطقة سال **Salles** ذات الوحيش الغني بـ **Pectinidés** (**Pecten Latissimus** و **Cardita Jouanneti**) ، أما الساحل الجنوبي فقد كان موسوماً بتشكيلات متأكلسة (رمال وحيشات الشالوس Chalosse) أو أكثر حداثة تسمح مستحاثاتها (Miogypsines و Lepidocyclines) بالتعرف على هوية البورديغالي والهلفيسي .

وأخيراً يكون من الممكن أن نلاحظ في منطقة آجين Agen توضعات قارية تشكل استمراراً للأوليغوسين والتي تدلنا على أننا تجاوزنا قاع الخليج، تلك هي صخور كلسية بحيرية ذات **Hélix Larteli** وصخور مولاس آرمانياك، وتكون عند حافة جبال البيرينيه عبارة عن تشكلات حصوية تنتهي برصيص هضبة لانوموزان Lannemezan التي تنسب إلى البونسي Pontien .

د ــ الميوسين الرومي (المتوسطي)

أ ــ المنخفض الحولألبي: (وادي الرون ــ المنحدر السويسري والسهل البافاري وحوض فيينا)، منذ مطلع الميوسين قام البحر الحر بعودة هجومية إلى كل هذه المنطقة الواسعة التي تهيمن جبال الألب عليها والتي انحسر عنها البحر في حوالي نهاية الأوليغوسين (شكل ٣٠١). وقد تقدم الطغيان القادم من وادي الرون عبر مراحل متعاقبة (Ch.Depéret). وعاد البحر البورديغالي الأسفل، وذلك بعد أن غادر منطقة مرسيليا، ليغطي منطقة ناربونة، مونبيلليه، نيم، آفينيون، بلغ، في تقدمه شمالاً، بلدة Crest وحوض فوركالكييــه، ورسّب رمــال Saint-Paul-Trois-Châteaux ذات **Scutella paulensis** . أما في البورديغالي الأعلى فقد كان الطغيان أكثر اندفاعاً نحو الشمال وبلغ سويسرا بالالتفاف من حول السلاسل شبه الألبية Subalpines ولكن دون أن يشغل غرب حوض نهر الرون (Lyonnais, Bas-Dauphiné, Valentinois) وتتميز هذه المرحلة برسوبات حثية ذات **Pecten praescabriusculus** في الشمال، ومولاس كلسية ذات بريويات حيوانية، وقنفذيات مبسطة و Pectinidés كبيرة في الجنـوب (حجر Midi) ومن ثم قام البحر في الفيندوبوني (ولا سيما خلال الهلفيسي) باجتياح منطقـة Lyonnais و Bas-Dauphiné وغطـى من جديـد سائـر وادي نهر الـرون، وتوضعت في وسط وجنوب الحوض التشكلات الأكثر عمقاً، وهي رمال غضارية ذات **Ostrea crassissima** غليظة، ومارنيات ميكائية ذات **Schizaster**، ومارنيات غنية بالمستحاثات في Cabrières d'Aigues (تورتوني)، وفي السلاسل شبه الألبية تكون عبارة عن رمال مارنية ذات **Ostrea crassissima** مع تناوبات متواترة من رصيص في

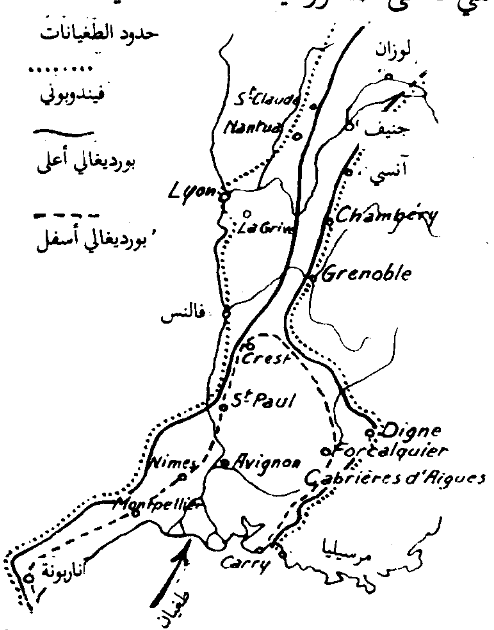
القمة، وأخيراً نجد في مناطق الطغيان أن صخور الحث الصفراء هي السائدة، وتكون سميكة جداً وذات **Terebratulina calathiscus** . ثم تختتم الدورة، بعد فصل مياه أجاج «لرمال ذات Nassa Michausdi » في منطقة Bas-Dauphiné ، بتوضع لحقيات قارية بونسية (هضبتا Valensole و Riez) مع قواقع بحيرية أو برية ووحيش الثدييات (وحيش ذو **Hipparion**) ولا سيما في المكمن البديع في Mont Luberon .

لقد رأينا قبل قليل أن البحر بلغ السهل السويسري خلال البورديغالي الأعلى (Muschelsandstein) وقد كانت الرسوبات على شكل صخور حث قوقعية ذات **Pecten praescabriusculus** ، متبوعة بمولاس مدينة برن Berne وسان غال ذات **Ostrea crassissima** . ومن قبل كان قد توضّع مولاس الماء العذب الأسفل، وهو تكوين مركّب يضم الشطّي Chattien (فحم ليغنيت ذو Anthracotherium في كانتون Vaud)، والاكيتاني والبورديغالي الأسفل (مولاس مدينة لوزان الرمادي) . وقد كانت الطبقات البحرية ذاتها متبوعة بفصل بحيري جديد يقابل الفيندوبوني (مولاس الماء العذب الأعلى) الذي يضم مكمن أونينغن Oningen المشهور (حشرات) والذي سمحت نباتاته للعالم Heer بالتأكيد، بأن سويسرا كانت تتمتع حينذاك بمناخ جزر كناري (الخالدات) . وتنتهي الزمرة، هنا أيضاً، بالبونسي القاري (مزق نادرة من لحقيات ذات **Hipparion**) .

ولكن كان البحر، فيما وراء سويسرا، يتمدد حتى في السهول البافارية والنمساوية . وتظل السحن هي ذاتها، باستثناء ما بعد مونيخ، حيث يحل مكان المولاس ذي **Ostrea Crassissima** تكوين «Schlier» ، وهو مركّب من مارنيات زرقاء ميكائية، سميكة جداً، ذات مستحاثات عميقة (Pectinidés ذات قوقعة رقيقة) ونصادف فيها Nautilidé مميزة، هي **Aturia aturi** .

أما التاريخ الجيولوجي لحوض فيينا، فهو يختلف قليلاً لأننا نعثر هنا على بورديغالي أسفل بحري والذي لا يمكن تبرير وجوده إلّا بوجود اتصالات مع البحر الأبيض المتوسط الشرقي عن طريق منخفض شمالي الكاربات . وكان البحر يسود في خارج القوس الآلبي ـــ الكارباتي (حوض ما وراء الألب extraalpin لدى العالم

سويس) منذ الاكيتاني وخلال كل البورديغالي (طبقات Molt ومولاس كلسّي منطقة إغجنبـورغ Eggenburg ذو **Pecten praescabriusculus**) والفيندوبـوني (Schlier، طبقات Grund الهلفيسية). ولم يدخل البحر بين جبال الألب وجبال الكاربات في منطقة فيينا (حوض داخل الألب intraalpin لدى سويس) إلّا مع الهلفيسي، ونعثر على طبقات Grund مغطاة هنا بمارنيات بادن Baden ذات Pleurotomes (تورتوني)، وبصخور كلسية حيوانية المنشأ (**Lithothamnium**، بريويات أو حزازيات حيوانية، ذوات المصراعين) التي تدعى صخور ليثا Litha الكلسية.



شكل ٣٠١ ـ مراحل الطغيان الميوسيني في وادي الرون الأدنى.

وابتداءً من التورتوني عام المنخفضان السويسري والبافاري وعملا على قطع علاقات البحر مع منخفض ماقبل الألب Préalpine ولكـن استمـر حوض فييـنا بالاتصال مع البحر الأبيض المتوسط الشرقي من الجنوب بواسطة «الحوض البانّـوني؛ أي الهنغاري». ولهذا السبب تنتهي فيه الزمرة النيوجينية بسحن خاصة مع وحيش مفتقـر ونشأت في هذا البحـر الكـبير الـداخلي المنعـزل (طبقـات ذات Cérithes السارماتيــة du Sarmatiem، طبقـــــات ذات Congéries كبيرة، Cardiums و

Melanopsis المنسوبة إلى Chersonien-Mèotien والتي تختم بحصباء بونسية في منظرة Belvédère مدينة فيينا ذات **Hipparion** و **Dinotherium** وطبقات ذات Paludines).

ب ــ ايطاليا : لقد غطى الميوسين القسم الأعظم من ايطاليا . ففوق السطح الشمالي لجبال الابنين ، يكون البورديغالي طاغياً ومتنافراً فوق الميوسين ويبدأ برصيص وبحث منتشر كثيراً فوق تلال ضواحي مدينة تورينو ، ثم يستأنف بمارنيات زرقاء من سحنة Schlier وبرصيص سربنتيني بمنطقة Superga (هلفيسي) . وفوق ذلك ، في منطقة Tortona ، تأتي مارنيات زرقاء ذات Pleurotomes (تورتوني) وتنتهي الزمرة بطبقات أجاجية جبسية مع كبريت إرجاعي de réduction (تكوين gypso-solvifère) (سارماتي) ثم قارية (Pontien = Messinien) .

أما في الابنين الأوسط فإن الفليش هو الذي يستمر في التفوق خلال الميوسين مع سحنة المولاس الكلسية ، في منطقة بوبليا Pouilles .

ونعثر على السحن الكلسية حتى في ايطاليا الجنوبية وفي صقلية (Latomies سيراكوزة) .

جـ ــ اسبانيا : إن أكثر المناطق فائدة هي حوض الوادي الكبير الذي يحوي ، لوحده في كل شبه الجزيرة ، انكشافات كبيرة من الميوسين البحري . ومن خلال هذا المنخفض البطيقي الشمالي (بين الميزيتا الإيبيرية وكتلة بطيقا) استطاع المحيط الأطلنطي أن يتصل مع البحر الأبيض المتوسط خلال الميوسين .

د ــ افريقيا الشمالية : لقد انغلق المضيق البطيقي الشمالي خلال التورتوني ، وابتداءً من هذه اللحظة لم تعد الاتصالات بين البحر الأبيض المتوسط وبين الأطلنطي متحققة إلّا بواسطة مضيق جنوبي الريف ، بين سلاسل الريف وبين عتبة تازا ، والذي ظل مفتوحاً خلال كل الميوسين . وقد انغلق هذا المضيق الريفي الجنوبي ، بدوره ، في بداية الميوسين وأصبح مضيق جبل طارق ، بالتالي ، هو الذي سيقوم بهذا الدور ؛ أي تحقيق الاتصال بين البحر الأبيض المتوسط وبين المحيط الاطلنطي .

أما في سائر المناطق الأخرى من افريقيا الشمالية، فيمكن التعرف على حوضات واسعة من الميوسين. فقد تقدم البحر نحو الجنوب من فوق الأطلس التلي ووصل حتى فوق الهضاب العليا ووضّع صخور حث ذات قنفذيات Pectenidés (بورديغالي) ثم مارنيات ذات Nautiles (Aturia aturi) المطابقة لسحنة «Schlier» (هلفيسي) والتي تعلوها تكوينات رصيصية تختم هذه الدورة الرسوبية والتي يمنحها الجيولوجيون الجزائريون اسم كارتنّي Cartennien. وفي الواقع يأتي في الأعلى بونسي Pontien يقدم ثلاث سحنات: قارية تقليدية (لحقيات ذات هياكل عظمية لحيوان Hi. pparion)، لاغونية (تكوين gypso-solvifère)، وأخيراً بحرية (ساحلي Sahélien). وفي الحالة الأخيرة تكون الرسوبات عبارة عن مارنيات زرقاء تضم وحيشاً خاصاً، متميزاً عن التورتوني وعن البليوسين.

هـ ــ أوروبا الشرقية: لقد سبق لنا ورأينا أن التضاريس الهلفيسية قد فصلت عن بقية البحر الأبيض المتوسط مناطق شاسعة من أوروبا الشرقية التي راحت تتحول، خلال الميوسين والبليوسين، شيئاً فشيئاً إلى لاغونات تقدم التوضعات فيها سحنة خاصة. وكان محور الكاربات، العائم، يفصل في ذلك العصر بين حوضين كبيرين هما: الحوض البانّوني «الهنغاري» في الغرب والحوض الكبير البونتي في الشرق، والذي كان يتطاول بحوض آرالي ــ خزري.

أما في خلال الميوسين الأسفل، بل وحتى في الفيندوبوني الأسفل، فقد كانت التوضعات مماثلة لتوضعات أوروبا الغربية التي سبقت دراستها: تكوين حيواني المنشأ يذكرنا بصخر ليثا Leitha الكلسي، مارنيات رملية تنسب إلى «Schlier» مع سحن لاغونية ذات ملح صخري (مكمن Wieliczka)، أملاح البوتاس وطبقات حاوية على النفط في جبال الكاربات البولونية والرومانية. ولكن التوضعات اتخذت، في الميوسين الأعلى، السحنة الشرقية لأنه في هذه اللحظة انقطعت الاتصالات مع البحر الأبيض المتوسط الغربي. ويكون السارماتي (سحنة شرقية للفيندوبوني الأعلى) فيه بحرياً ولكن الوحيش تحول إلى وحيش بحر داخلي، غني بالأفراد (ذوات المصراعين على الخصوص، معديات الأرجل، منخربات مصفحة encroûtants من نوع **Nubecularia** تعطي

أرصفة صغيرة récifs)، وفقير بالنوع. ويكون هذا البحر طاغياً في اتجاه الشمال، ولكنه خلّف في روسيا الجنوبية توضعاته الأكثر تميزاً، وذلك في شبه جزيرة كيرتش Kertch (شبه جزيرة القرم). وتضم الطبقات البونسية المتنضدة مستحاثات هي من الأحفاد المباشرة للسابقة والتي ستقودنا شيئاً فشيئاً إلى الوحيش الخزري الحالي. وقد تمَّ هذا التحول الشكلي عبر مراحل تحمل أسماء ثلاثة طوابق فرعية Sous-étages هي: ميئوتي Méotien (وحيش يختلف عن السارماتي[1]، صخر كيرتش الكلسي)، بونسي P.P.d (لا يوجد إطلاقاً سوى أشكال أجاجية آرالية ــ خزرية ولا سيما العديد من Cardiums المتمايزة كثيراً عن بعضها والتي يضاف إليها عدد من Congéries ومن Paludines) وأخيراً هناك الداسي Dacien (فترة انحسارية بالنسبة للحوض البانّوني والذي لا نجد فيه سوى وحيشات بحيرية ذات Paludines و Unios). وفي نهاية الميوسين، انفصل البحر الأبيض المتوسط الشرقي إلى أحواض خاصة ومتميزة وعادت وحدة الحوض الكبير الشرقي «بحيرة كبرى ــ بحر أسود ــ خزري» لتتشكل من جديد (بليوسيني خزري Pliocaspien).

و ــ البليوسين الرومي

يقع نمط البليوسين في المجال الرومي وعلى الخصوص في إيطاليا. ففي هذا الدور جرى تدشين دورة ترسيبية جديدة تكون التقسيمات الفرعية فيها مستندة على وحيشات درسها M.Gignoux في إيطاليا بدقة. ومن وجهة النظر هذه تمَّ هنا تمييز مجموعتين كبيرتين:

أ ــ البليوسين الأسفل الذي يتميز بوحيش من قواقع بحرية كان مقارباً جداً للحالي، ولكن توجد فيه مع ذلك العديد من الأنواع الحارة تعيش حالياً على سواحل بلاد السنغال، لا سيما عندما تكون شروط السحن ساحلية. وهذا ما حدث بالنسبة

(١) وعلى كل حال فإن الوحيش السفلي من Congéries للحوض البانّوني (زمرة كاملة) يكون مماثلاً نوعاً ما لوحيش هذا الطابق.

لسحنة الرمال الصفراء العائدة للآستي Astien، في حين نجد في السحنة، المسماة بليزنسي Plaisancien أو العميقة، والممثلة بمارنيات زرقاء، نجد أن الوحيش يشابه وحيش التورتوني. ولنضف إلى ذلك أن وحيش الثدييات في البليوسين الأسفل لا يحوي بعد فيلة، ولا خيولاً ولا أبقاراً.

٢ً ــ البليوسين الأعلى أو كالابري Calabrien ويتمايز بجلاء بوحيش يكاد يتألف حصراً من أنواع لا تزال تعيش في البحر الأبيض المتوسط، ولكنها كانت هذه المرة مختلطة بأنواع باردة مثل Cyprina islandica. وفضلاً عن ذلك فإن في هذه اللحظة ظهر الثلاثي اللبوني الذي ورد ذكره أعلاه (فيللا فرانشي).

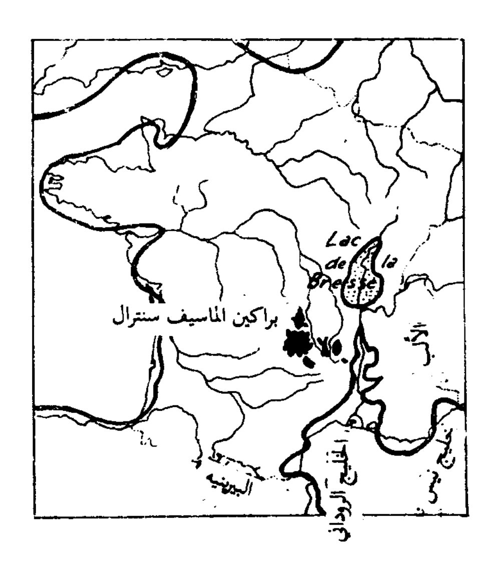
أ ــ **إيطاليا**: ويشكل البليوسين فيها غطاءً مستمراً، اللهم إلا في الابنين (ولا سيما في السفح التيريني)[١]. ذاك هو الصخر القديم تحت الابنيني Subappennin لدى الجيولوجين المحليين. ويظهر على شكل زمرة ردم نموذجي تكون سواحله القديمة على ارتفاعات لا تزال عالية جداً، ٤٠٠م في شمالي ايطاليا، وحتى ١٠٠٠م في كالابريا وفي صقيلية، وهي جزرة كانت شبه مغمورة كلياً بالمياه تقريباً[٢]. ومما يستحق التنويه بمنطقة Fouilles ومنطقة Monte Gargano وجود انتشار كثيف لسحن المولاس الكلسية الناجمة عن طبيعة السواحل (لأننا نكون هنا في منطقة ذات صخور كلسية). وقد تميزت، بين سليسلات الابنين العائم الذي لم يجتاحه البحر، أحواض بحيرية كان أشهرها حوض Val d'Arno الذي تمَّ ردمه ببضع مئات الأمتار من بليوسين قاري مع وحيش فيللا فرانشي كلاسيكي.

ب ــ **فرنسا**: ويشكل البليوسين فيها، وذلك على ساحل البحر الأبيض المتوسط، خلجاناً صغيرة تنطبق على الوديان الحالية (شكل ٣٠٢ و ٣٠٣). ولنذكر خليج فار Var، الذي ردمه دلتا لحقي لواد سيلي بليوسين. ولكن أهم هذه الخلجان

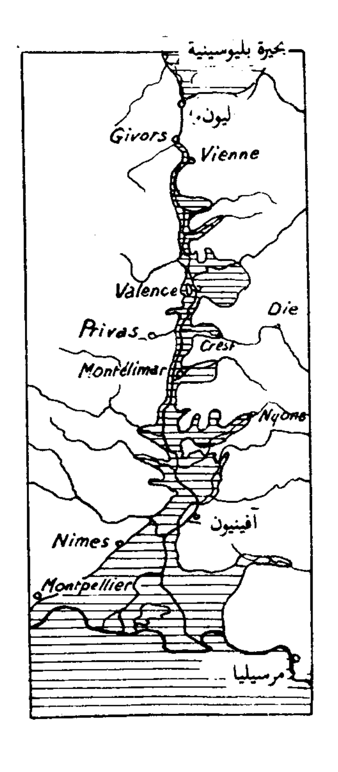
(١) إن عدم استمرارية الانكشافات البليوسينية على طول هذا الساحل توحي بفكرة أرض عائمة كانت في ذلك العصر تربط كورسيكا وسردينيا وكتلة جبال Maure-Estérel (Tyrchénide)، وبأن المشهد الجغرافي الحالي إنما نتج عن انهيارات رباعية.

(٢) لم يكن بركان أتنا قد ظهر بعد لأن أوائل ثوراناته رباعية.

هو خليج أو «rias» وادي الرون الذي تسلّل فيه البحر حتى كاد يبلغ مدينة ليون ، وتكون التوضعات فيه مؤلفة ، على الخصوص ، من غضاريات ذات سحنة بليزانسية تضاف إليها تكوينات أجاجية أو حتى بحيرية في النطاقات الهامشية : طبقات ذات ليغنيت لمنطقة Hauterive ورمال Lens-Lestang في إقليم Drôme ، وطبقات ذات Paludines لبحيرة بريس Bresse في شمالي مدينة ليون . وتنتهي الزمرة بلحقيات فيللا فرانشية التي تؤلف هضبة شامباران ، في منطقة وادي إيزير Isère ، مثالاً طيباً عنها .



شكل ٣٠٢ ــ فرنسا في البليوسين .

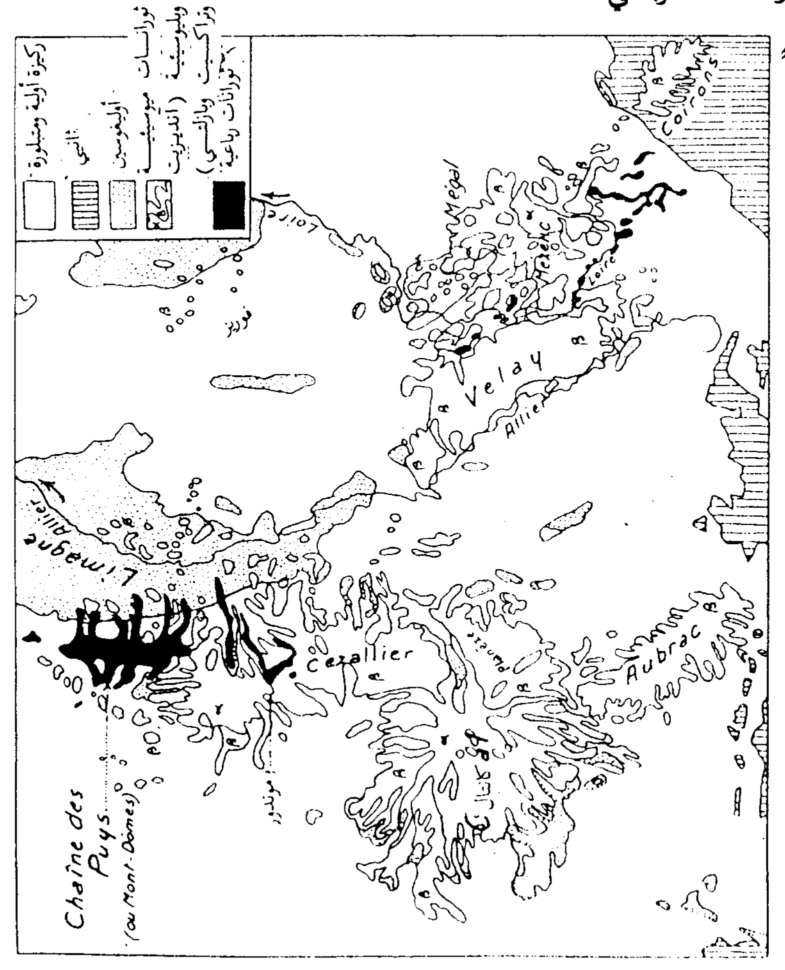


شكل ٣٠٣ ــ توسع البحار البليوسينية (بليزانسي) في وادي الرون (عن Fontannes ، مع تعديل طفيف) .

ونجد بعض البليوسين ، وذلك بسحنتيه البليزانسية والآستية في منطقة لانغدوك وحتى مدينة مونبيلليه ، وكذلك في الروسيّون ، وهنا توجد مكامن بديعة معروفة عن الثدييات . ويشكل البليوسين ، على الجانب الآخر من الحدود الإسبانية ، أيضاً بعض الخلجان (خليج Ampourdan مثلاً) .

وأخيراً ، فإنه خلال البليوسين الأسفل بدأت تتجلى الفعالية الثورانية لمنطقة

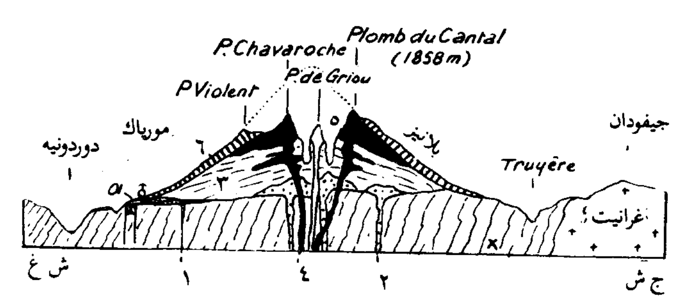
الماسيف سنترال وذلك بتشييد أجهزة بركانية كبيرة (Mont-Dore ، Cantal ، Mégal و Mézent) (شكل ٣٠٤ و ٣٠٥) تلك الفعالية التي امتدت خلال كل الرباعي، وفي البليوسين الأعلى انساحت المسكوبات البازلتية (بازلت الهضاب) التي راح يحـزّزها الحت الرباعي[1].



شكل ٣٠٤ ــ البراكين الثلاثية والرباعية في الماسيف المركزية الفرنسية.

(١) ولكن لنوضح أن بركنة الماسيف سنترال الفرنسية، التي انطلقت على الخصوص بفعل انهيارات كبرى في منطقة ليمانيا والتي أعقبت الالتواءات الألبية، قد ظهرت بشكل متواضع منذ الأوليغوسين وخلال الميوسين (بازلت).

جـ ــ **أوروبا الشرقية**: لقد استمرت اللاغونات البونتية ذات Congèries و Cardiidés خلال البليوسين في كل هذه المناطق، ولكنها انكمشت تدريجياً، بحيث لم تتجاوز البحر الأسود وبحر قزوين الحالي .



شكل ٣٠٥ ــ **مقطع بركان كانتال** (عن M.Boule) ١، بازلت ميوسيني . ٢، تراكيت وفونوليت ميوسينية . ٣، بريش وسينيريت بليوسينية . ٤، آنديزيت بليوسينية . ٥، فونوليت . ٦، بازلت الهضاب (بليوسين أعلى) . Ol أوليغوسين . X، متبلور .

وراحت تتفـرد حول هذا الحوض الـواسع الأجـاج saumâtre البليوسينـي القزويني، ولا سيما في الأحواض: الداسي Dacique والبانّـوني والمنطقة الإيجية، أقول راحت تتفـرّد بحيرات دعيت شرقية، حيث كان يعيش فيها العديد من رخويات الماء العذب نذكر في عدادها Paludines الذائعة الصيت، التي درست أنواعها على يد نومايير Numayr . وقد أصبحت هذه البحيرات متجففـة اليـوم، ولـكنها في خلال الرباعي، وبفضل انهيـار مضائـق الدردنيـل[1] ، أصبـح الـقسم الغـربي من الحوض الأجاجي(*) عرضة لاجتياح مياه البحر الأبيض المتوسط العادي الذي حمل وحيشه ولكنه أهلك الوحيشات المحلية المشرقية والخزرية caspiques .

(١) انهيار مرتبط ببلاد Eegèide القديمة .

(*) أجاج Saumâtre ويقصد بها ماء مالح ولكن أقل من الملوحة الوسطى لمياه البحار .

الفصل الحادي عشر

الأراضي الرباعية (الرابعية)

١ ـ عموميات

ندخل، مع الحقب الرابعي، في فترة تبدو، من وجهة النظر الجغرافية، قليلة الاختلاف نوعاً ما عن الفترة التي نحياها والتي يمكن اعتبارها كاستمرار لها. وعلى الرغم من قصر ديمومة الرابعي عندما نقارنها بمجمل الأزمنة الجيولوجية فقد كان، على العكس، مسرحاً لظاهرات من أكثرها أهمية. وفي الحقيقة، هناك واقعتان كبيرتان جديدتان تسمحان بتفرُّد ذلك العصر بالموازنة مع العصر الذي سبق: من ناحية ظهور الإنسان والحيوانات الحالية، ومن جهة أخرى التبدلات المناخية، التي كان من جرائها نمو جموديات فسيحة في العالم قاطبة، مما كان قادراً على منح هذا الجزء من تاريخ الأرض اسم الدور الجمودي.

غير أن الرباعي هو أيضاً عصر حفر الأودية (تشكل المصاطب النهرية والبحرية) وأواخر انهيارات بحر إيجة والتي أنجزت منح البحر الأبيض المتوسط منظره الحالي[1].

---

(١) إن أحدث تأليف عن الرباعي هي الدراسة التي قام بها L. Joleaud و H. Alimen «أزمنة ما قبل التاريخ» (مجلد ١، ٢٤٣ ص، باريس ١٩٤٥).

ذاك هو دور أصبحت دراسته عسيرة بشكل خاص، لتكاثر الظاهرات التي وسمته بملامحها والتي راحت تتطلب تطبيق طرائق جديدة مختلفة عن طرائق الستراتيغرافيا التقليدية، وهي أيضاً تلك التي تكون النتائج التي أمكن التوصل إليها تكون أقلها وثوقاً وأكثرها عرضة للجدل. وهكذا لا نزال نفتقر، بالنسبة للرباعي، إلى تصنيف يسمح بتزامن التوضعات المتنوعة (مورينات، مصاطب، بلاجات ناهضة... إلخ) لذلك العصر، بصورة مقبولة لدى كل الجيولوجيين.

I ـــ التوضعات البحرية ووحيشها

تلك هي دائماً عبارة عن رسوبات كبيرة النضارة، وهي رمال قوقعيـة أو غضاريات، تكون أحياناً متمددة على طول بعض السواحل مواكبة المصاطب المتدرجة على ارتفاعات متناقصة تدريجياً حتى مستوى البحر الحالي. ولما كانت جغرافية الرباعي قليلة الاختلاف عن جغرافيتنا الحالية، فإن الاتساع الجغرافي لهذه التوضعات يكون من أكثرها انكماشاً وان ارتفاعها لا يتجاوز ١٠٠م إطلاقاً، بل وحتى تم اكتشافها عن طريق عمليات تجريف[1]. وهكذا يكون توزع هذه التشكلات إذن دليلاً على تبدلات مستوى البحار، وهي تبدلات ناجمة إما عن حركات الركائز القارية («بلاجـات منهضة»)، أو عن حركات إجماليـة لمجمـل مستـوى البحـر (حركات أوستاتيـــة eustatiques) أو عن تضافر هذين السببين (شكل ٧٥، c).

أما في المجال الرومي (المتوسطي)، الذي يكون هنا محـطّ أنظارنا، فقد كان الوحيش الرخوي قد سبق له واستقر في ملامحه الجوهرية منذ الرباعي، وعلى كل حال، فإلى جانب الأنواع البليوسينية التي ظلت عائشة، والتي ستندثر خلال الرباعي، يجب

(١) مثال ذلك أعمال السبر التي قام بها كل من Phleger و Pettersson في بحر الانتيل، التي سمحت، بفضل طرائق خاصة (سابر ـــ مدفع، سابر ذو كبّـاس) باقتلاح «جزرات» تزيد عن ١٥سم من فوق القيعان البحرية. وقد أظهرت دراسة وحيشات المنخربات المجموعة التحولات المناخية المستمرة والتي كانت نتيجة الأدوار الجمودية وأدوار ما بين الجمودية interglaciaires.

أن نأخذ بعين الاعتبار الأنواع التي تلاشت حالياً من البحر الأبيض المتوسط والتي استطاعت أن تهاجر نحو المناطق الباردة، أو على العكس، نحو المناطق الحارة. وقد تم هذا التحوير في الوحيش الرومي، كي يؤدي إلى الوحيش الحالي، عبر ثلاثة مراحل والتي لا زالت يطلق عليها اسم طوابق:

١ً ــ المرحلة الصقلية (صقلّي): وقد اقتبس النمط في صقلية (خليج بالرمو). ويكون الوحيش، الذي يمدد وحيش الكالابري مع تعديلات طفيفة (تلاشي أنواع) بالفعل مشابهاً كثيراً للحالي، ولا يتميز عنه إلا بوجود بعض الأنواع النادرة مندثرة حالياً، ولا سيما يتميز على الخصوص بوجود بعض أنواع باردة لا تزال تعيش في شمال المحيط الأطلنطي **(Buccinum undatum, Fusus contrarius, Cyprina islandica)**. إذن لا تكون هذه الأنواع مميزة لعصر ما إلّا بالنسبة لبعض المناطق.

٢ً ــ المرحلة التيرينية (Thyrhénien): لا يشتمل الوحيش على أنواع مندثرة بل يتميز بأشكال حارة لا تزال تعيش حالياً على شواطئ بلاد السنغال والتي أكثرها ترددا هي **Strombus bubonius** الغليظة (ومنها جاء اسم «طبقات ذات سترومب Strombes» والتي أطلقت أحياناً على طبقات تشتمل على هذا الوحيش). وتكون هذه التوضعات التيرينية منتشرة جداً في كل المجال الرومي (المتوسطي).

٣ً ــ الوحيش الحالي: ذاك شكل مفتقر يتشكل على حساب الوحيش السابق، ولكن بفعل تلاشي أنواعه الحارة المهاجرة.

II ــ التوضعات القارية

وهي على الغالب عبارة عن توضعات نهرية (رمال، حصويات، غرين Limons ، مرتصفة على شكل مصاطب، وتوضعات من أصل جمودي (مورينات) أو

من أصل ريحي (لوس Loess)، حشوات كهوف، وتوضعات عضوية (ليغنيت، تورب «خُث»)... إلخ.

وتتم دراسة هذه التكوينات المختلفة حسب طرائق الستراتيغرافيا التقليدية، ولكنها تتضافر هنا مع تقنيات خاصة، كطرائق التحليل البوغي polliniques (التي تنبئ عن التجمعات النباتية وبالتالي عن المناخ في عصر ما)، وفحص السطوح المحمّرة (ترب قديمة). كذلك يجب ألّا نغفل عن ظاهرات الزحزحة remaniements، و cryoturbation[1] وجريان التربة solifluxion والتي تكون أهميتها هنا رئيسية[2].

أ ــ المصاطب النهرية

يعود تاريخ حفر معظم أوديتنا الحالية إلى العصر الرباعي، ولكن من الصحيح أيضاً القول بأنه بدءاً من ذلك العصر، وبتأثير ظروف خاصة (انخفاس الأرض، ارتفاع مستوى الأساس الذي تنتهي عنده الأنهار)، فقد تم ردم هذه الأودية. وقد أدّى هذا الردم إلى تشييد سهل لحقي ذي سطح شبه أفقي ويميل بشكل ضعيف في اتجاه السافلة aval. ولكن لو حدثت، في برهة ما، ظروف معاكسة تماماً لتلك التي أوردناها آنفاً ومارست عملها (كنهوض الأرض، انخفاض مستوى الأساس) فإن النهر سيقوم بالحفر من جديد في سريره، المؤلف هذه المرة من لحقياته الخاصة، وسيكون سطح السرير الجديد واقعاً على ضفتيه تحت هيمنة دكّتين banquettes لحقيتين يطلقُ على الواحدة منهما اسم مصطبة terrasse (شكل ٣٠٦). وهكذا سيتولد سهل لحقي (إطمائي) جديد والذي قد يتعرض للحفر بدوره، وستكون النتيجة النهائية لهذه التحولات بين

---

(١) مجموع انتقالات المادة في التربة أو في التوضعات الهشة السطحية بتأثير الجمد والانفكاك أو طرائق أخرى في البيئات الحوجمودية Périglaciaires.

(2) H. Breuil. **De l'importance de la solifluxion dans l'ètude des terrains quaternaires de la France et des pays voisins** (Rev. de Géog. physique et de Géolog. dynamique, VII, fasc. 4. 1934) Action du froid et de la gravité.

الحفر والردم المتناوبين هي تشكل مصاطب متدرجة يكون أقدمها هو أعلاها. ومن المنتظر أن هذه المصاطب المحفوظة، على هذه الصورة، على ارتفاع متناقص قد تعطي وهماً عن ردم متناقص تدريجياً حتى عصرنا هذا.

ولكن الأمر ليس كذلك وأن هذه المصاطب (التي قد تتلاشى جميعها، بعد غمرها بردم حديث كثيف)، لا تمثل سوى مراحل قصوى لهذا الردم.

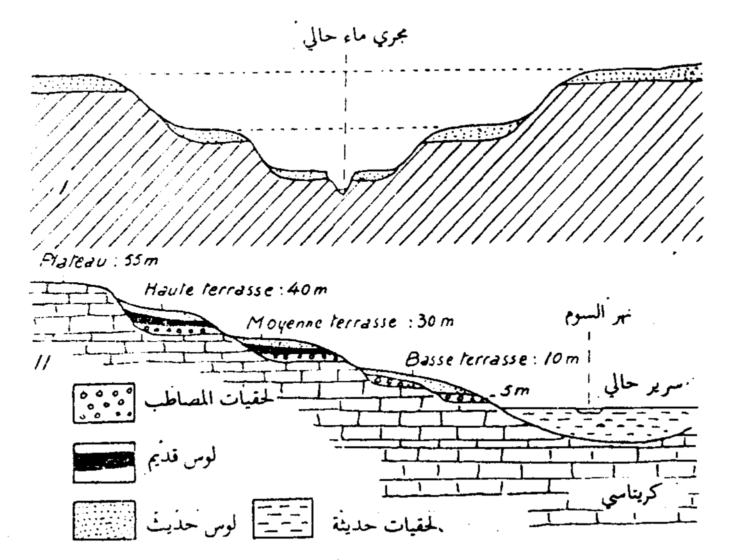
وعلى هذا الأساس يمكن إذن تأريخ المصاطب عن طريق ارتفاعها النسبي، وعلى هذا الأساس نجدها، في وادي نهر الرون، وهي تتدرج بصورة تقريبية على ١٥، ٣٠، ٦٠ و ١٠٠م فوق مستوى النهر، ولكن لا يمكن مقارنتها فيما بينها إلا تلك التي تقع بجوار الجبهات الجمودية القديمة [1]. ولكن يمكن تأريخها بوحيش الثدييات، وهكذا نجد في وادي نهر السين (شكل ٨٧)، وفوق السرير الحالي، ان لدينا بالتعاقب مصطبة ذات وحيش حالي، ومصطبة ذات ماموت، ومصطبة ذات **Elephas antiqiis**، وأخيراً مصطبة ذات **Elephas meridionalis**، وهي الأكثر ارتفاعاً. وهكذا يبدو أن وادي السين قد تم حفره عن طريق تعمقات متتالية حتى عتبة قصوى هي العصر الحالي، ونكون هنا، وعلى عكس مبادئ الستراتيغرافيا، تكون الأراضي الأكثر ارتفاعاً هي الأكثر قدماً.

ولكن الأمر لا يكون دوماً على هذا الشكل، وهكذا نلاحظ في وادي المارن، على الخصوص، في موقع Chelles، ان لحقيات ضفاف النهر تسمح بملاحظة تعاقب معاكس تماماً للسابق، ولكنه ستراتيغرافياً أكثر عادية: فنجد حصباء ذات **Elephas antiquus** عند القاعدة، ومن ثم بالتتالي، وفي الأعلى، حصباء ذات ماموت وحصباء ذات حيوانات أهلية. إذن نجد هنا بأن عصر **Elephas antiquus** هو الذي يقابل مرحلة الحفر الأقصى. وتكون هذه التناقضات ظاهرية ويمكن توفيقها إذا لاحظنا أنه، سواءً بالنسبة لوادي المارن أو بالنسبة لوادي السين، كان عصر الحفر الأقصى كان هو على الضبط عصر **Elephas antiquus**، ولكن بينما كان التعزيل الذي أعقب ذلك

(١) تجري أحياناً مقابلة اسم «المصطبة السفلى» وهي المصطبة الواقعة على ارتفاع ١٥م مع المصطبتين الأخريين وارتفاعهما ٣٠م و ٦٠م واللتين يطلق عليهما اسم «المصطبتان العاليتان».

كان شبه كامل في وادي السين، فقد كان جزئياً في وادي المارن. ولكن الأمر لم يكن كذلك بالنسبة لمرحلة الحفر التالي لتوضع اللحقيات ذات الوحيش الحالي.

وهكذا نرى إذن بهذا المثال أن شروط الحفر، بالنسبة لكل واد، قد تختلف ولا تسمح بالقيام بمقارنات بين المصاطب مستندة حصراً على المورفولوجيا والارتفاع [1].



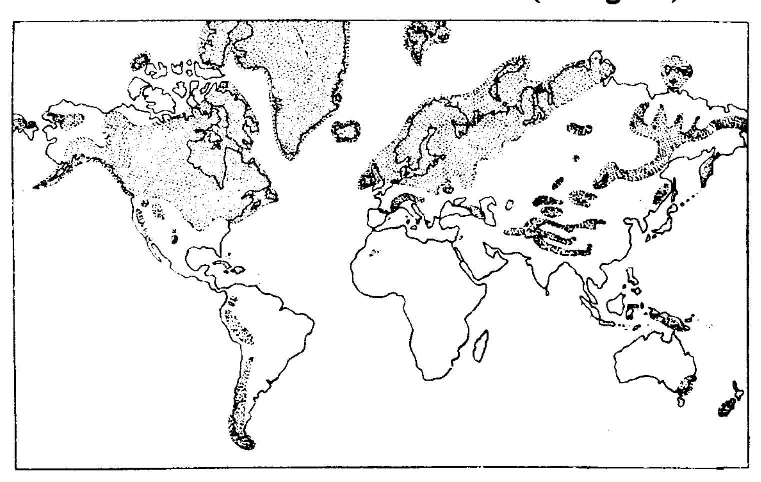
شكل ٣٠٦ ــ **مصاطب نهرية**. I، مقطع تبسيطي في منظومة مصاطب متصندقة (المصطبة العليا هي الأقدم). II، مصاطب وادي نهر السوم بجوار مدينة آميان.

ب ــ التوضعات الجمودية

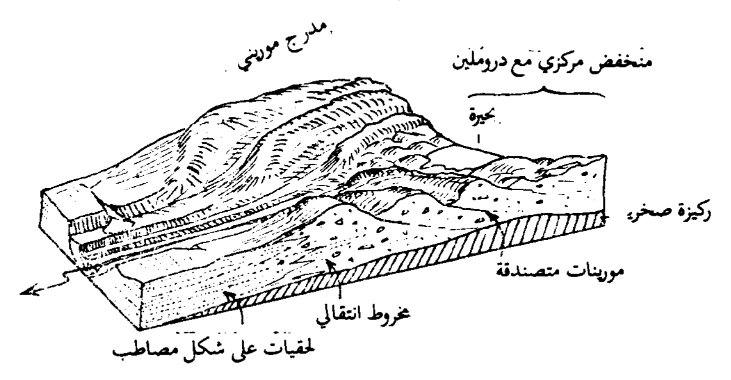
لقد سبق لنا أن قلنا أن تبرداً عاماً في الحرارة وتزايداً في الرطوبة في فجر الرباعي يستطيعا لوحدهما تفسير نمو واتساع الجموديات، ومن ثم تجاوزها على حضيض الجموديات التي سبق لها أن استقرت فوق السلاسل المنتصبة حوالي نهاية الحقب الثالث. ولقد تركت هذه الجموديات آثاراً هامة، ليس في أوروبا فحسب، (الكتل الجبلية الاسكندينافية، إيقوسيا، الألب، البيرينيه، الماسيف سنترال، الفوج والغابة

(١) لقد أمكن التوصل حالياً إلى مفهوم المصطبة المسماة «المتعددة التكوينات» T.Polygénique (E. Chaput) التي يختلف ارتفاعها بشدة في الوقت ذاته باتجاه محور وسافلة (downstream = aval) الوادي.

منتظمة (**دروملن Drumlins**) ومحاطة بأقواس مورينية متحدة المركز مؤلفة من مورينات جبهته متعاقبة (شكل ٣٠٨) .



شكل ٣٠٧ ــ **التوسع العالمي للجموديات خلال الرباعي** (يشير اللون الرمادي إلى المناطق المغطاة بالجليد) (عن Antevs) .



شكل ٣٠٨ ــ **شكل تبسيطي لمركب نهري ــ جمودي** .

وقد كانت هذه المنخفضات أحياناً « مستعمَقة » بالجمودية ، ويحدث ذلك في كل مرة يكون فيها تقدم الجمودية معرقلاً « بمزاليج » صخرية تحجز الوادي. وهكذا يكون وادي الإيزير Isère في جوار غرينوبل (نقطة اقتران جمودية الإيزير مع جموديتي رومانش و دراك) قد انحفر لعمق يزيد عن ٢٠٠م تحت مستوى البحر ؛ فقد ظلت

عملية سبر حديثة فيه ضمن اللحقيات، دون أن تدرك القاع الصخري المحلي على عمق يربو على ٤٠٠م (سبر Beauvert).

أما على الجزء الخارجي من الأقواس المورينية الختامية فيبني السيل الجمودي «**مخروطاً انتقالياً**» يتصل بالأغشية اللحقية في القسم الأسفل من الوادي، والمرتصفة على شكل مصاطب متدرجة. وبذلك أمكن الخلاص إلى أن كل عصيبة مورينية جبهية كانت تقابل مصطبة تحددها، باعتبار أن المجموع يشكل منظومة نهرية ـــ جمودية.

وهكذا، وكما هو الحال في المصاطب، لن نستطيع إعادة تمثيل من هذه الأشكال الطبوغرافية الجمودية سوى مراحل متناقصة تدريجياً محصورة بين تقدم أقصى ووضع الأحوال الحالي للجمودية المولّدة générateur.

وهكذا يظهر تاريخ الجموديات الألبية القديمة مؤلفاً من سلسلة من الفيضانات والانحسارات الجمودية، وتشكل هذه الانحسارات بين الفيضانات، أو الفترات الجمودية الصرفة، أدواراً بين جمودية عاد المناخ خلالها ليصبح حاراً، أو على الأقل كحرارة المناخ الحالي. وهكذا فإن ثغرة هوتينغ Hötting الشهيرة، قرب مدينة إينسبروك النمساوية، والتي تحتوي على **Rhododendron ponticum** و **Buxux sempervirens** والكرمة كانت مندسة بين مورينين Moraines اثنين.

وكانت نقطة انطلاق دراسة الجموديات القديمة الألبية هي منطقة جبال الألب اليافارية والصوآبية، فهناك استطاع بنك Penck وبروكنر Bruckner أن يميزا آثار أربعة أدوار جمودية أعطياها أسماء أنهار محلية: من أقدمها إلى أحدثها، وهذه الزحوف الجمودية glaciations هي: غونز Günz، ومندل (أكثرها اتساعاً) وريس Riss، وفورم Würm ومنها جاءت عبارات غونزي، ريسّي، منديلي (الذي ينطبق على المورينات الخارجية) والفورمي (مورينات داخلية)، وهي أدوار رئيسة كانت متبوعة بذبذبات جمودية أقل أبعاداً لم تتمخض عن أكثر من «مراحل stades».

أضف إلى ذلك أن المورينات تكون، من وجهة نظر هؤلاء المؤلفين، على علاقة مع المصطبتين المرتفعتين (٣٠ و ٦٠م) والمورينات الداخلية مع المصاطب السفلى

(١٥م). ومن ثم وسّع هؤلاء المؤلفون أبحاثهم إلى جبال الألب السويسرية والفرنسية حيث عثروا على مورينات مرتصفة بصورة مطابقة لمخططهم التمساوي.

جـ ـــ اللوس

إنه، كما سبق ورأينا، عبارة عن غبار كلسي غير لدن، منفذ ينفرش على مساحات شاسعة في الصين وفي أوروبا، و لا سيما في شمالي فرنسا (حيث يعرف تحت إسم **ergeron**)، وعلى الحافة الخارجية لجبال الألب وسهول ألمانيا، وأوروبا الشرقية (١).

ويكون سطح اللوس في أكثر الأحيان فاسداً بفعل التأكلس، وتحول بفعل احمراره إلى «لهم **Lehm**». ويتخثر الكلس المنحل في الأجزاء السفلى من كتلة اللوس كي يعطي «**دمى**» اللوس.

ومن المرجح الآن أن القسم الأعظم من هذا اللوس إنما يعود لأصل ريحي وأن هذه التراكمات من الغبار لم تتمكن من التشكل إلّا تحت مناخ قاحل، في منطقة مغطاة ببساط عشبي هزيل. ولكن الحال ليس على مثل هذا الحال في مناطق انطلاق هذه الغبار، التي يجب أن تكون عارية وصحراوية. ومن المحتمل أن المناطق الهامشية الملاصقة للجموديات الرباعية الكبرى، مع مساحاتها الواسعة المؤلفة من لحقيات نهرية ـــ جمودية ومن مورينات، كانت تحوي هذه الصفات، وهي فرضيات تجد فعلاً تأكيداً لها في دراسة وحيشات الثدييات المختلطة بها (وعل الرينه، البقر المسكي، قوارض السهوب).

وفي فرنسا يوجد اللوس في منطقة الألزاس، وفي وادي الرون (ضواحي ليون) وفي الشمال. وكثيراً ما تكشف فيه دراسة التطبق عن نطاقات محمرة، موازية للسطح،

(١) ف. ماليشيف. اللوس. مجلة الجغرافية الطبيعية والجيولوجيا الديناميكية II ـــ ١٩٢٩، IV ـــ ١٩٣١، V ـــ ١٩٣٢، VI ـــ ١٩٣٣).

والتي لا علاقات لها مع التطبق الذي لا وجود له. وتنطبق هذه النطاقات على ترب قديمة (إذن على فترة حارة، بين الزحوف الجمودية)، وتفصل بالتالي كتل اللوس البحتة والتي تشكلت خلال دور بارد وسهبي المنطبقة على دور جمودي. ولكن اللوس القديم يظل دائماً فاسداً إلى حد بعيد ويظهر منفصلاً عن اللوس الحديث، الأكثر نضارة بكثير بفاصل زمني طويل بين زحفين جموديين. ويكون اللوس الحديث معاصراً لزحف فورم الجمودي. ولا يظهر في فرنسا إلّا فوق المصاطب العليا والمورينات الخارجية (ريس). وهناك سحنة خاصة لوسية، وهي السحنة التي تظهر بشكل خاص في Bas-Dauphiné والتي تصلبت بفعل التكّلس (E.Bourdier).

د ـــ الوحيشات والنبيتات القارية

لقد كان للتغيرات المناخية صداها العميق على تركيب وتوزع الوحيشات والنبيتات القارية خلال الدور الرابع (الرابعي) وهكذا تم تطور وحيشات الثدييات الأوراسية عبر بضع مراحل.

فبادئ ذي بدء أمكن التعرف، ضمن طبقات **Forest bed** الشهيرة لمنطقة كرومر Cromer، على السواحل الانكليزية، على وحيش يشكل انتقالاً مع البليوسين. ويشتمل هذا الوحيش بالواقع على أنواع من البليوسين الأعلى **(Rhinoceros etrucus, Elephas meridionalis)** مختلطة بأنواع حارة من الرباعي القديم **(Hippopotamus, Elephas trogontherii)** وحتى بأنواع باردة. وتكون طبقات كرومر هذه مغطاة بالواقع بمورينات قديمة.

ويعثر على وحيش مماثل في غضاريات Tegelen (وادي الراين الأدنى) وفي اللحقيات القديمة بمنطقة Süssenbord، قرب فيمار Weimar، والتي تكون كذلك سابقة لأكثر التكوينات الجمودية قدماً.

ومن ثم تلا ذلك الوحيش الانتقالي وحيش يوصف بالحار، متميز بوجود **Elephas antiquus** يختلط به **كركدن مركي Mercki وفرس النهر الضخم**

Hippoptamus major . ويوسم هذا الوحيش بداية الرباعي بطابعه . ويملك نبيت ذلك الدور ، المحفوظ في صخور الترافرتان والطف ، كذلك صفات جنوبية وذلك إلى الشمـــال كثيراً في القـــارة الأوروبيـــة (تين ، غار ، طويـــا Thuya ، بقص ، Rhododendron Pontique نسبة إلى سواحل تركيا على البحر الأسود) .

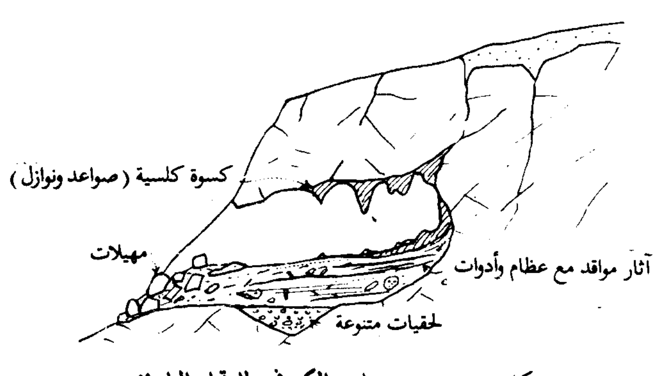
وقد نجم عن زحفي ميندل وريس الجموديين هجرات محلية لهذا الوحيش ، ولكن دون أن تفسد تركيبه .

ولم يأخذ المناخ بالتبرد بدرجة محسوسة إلا ابتداءً من آخر زحف جمودي (فورم) وأعقب البرد الرطب دور من البرد الجاف . وتراجع الوحيش الحار نحو المناطق الجنوبية وخسر الكثير من أنواعه (مثل الفيل القديم وكركدن مرك) اللذين اندثرا ، هذا في حين أخذت أنواع أخرى في التواؤم مع قساوة البرد بأن اكتست بفراء سميك وأصبحت ملتصقة بذلك الوحيش الجديد مثل : **ELepha primigenius** (ماموت) و **كركدن Tichorhinus** وهما أكثر العناصر تمييزاً لتلك الفترة ، واللذين يضاف إليهما الثور المسكي ولا سيما وعل الرينه (الذي تطاول به الأمد لوقت متأخر جداً في مناطق أوروبا الغربية ، وكذلك شأن عدد لا يحصى من قوارض السهب أو التوندرا ، وكل وحيش الكهوف (أسد ، دب ، ضبع) (شكل ٣٠٩) وهو وحيش عادي أكثر ، ولكنه كان يبحث في هذه الأمكنة ، شأن الانسان البدائي ، عن مأوى ضد البرد .

وقد خضع المناخ لتبدل جديد بعد ذوبان أواخر الجموديات الفورمية وراح يتجه بشكل غير محسوس نحو الأوضاع الحالية . واستقرت الغابة في مكان السهب والوحيش المتوائم مع البرد هذا بينما كان وحيش الكهوف يتلاشى تدريجياً . وتطورت في مكانها الوعليـات Cervidés والخيـول الوحشيـة وكل المجتـرات التـي سيعمـل الانسان على استئناسها .

وتقدم دراسة النبيت ، من جانبها ، معلومات مناخية دقيقة جداً ومتناسقة مع المعلومات عن الوحيش . وقد تركت هذه النبيتات flores بقايا مستحاثة في تكوينات الطف Tufs ولا سيما في الليغنيت والـخُث Tourbes ، حيث تعرفنا البحوث ، التي

قامت بالاستعانة بتقنية التحاليل البوغية، بصورة مفصلة. وهكذا أمكن التحقق من وجود ثلاث مجموعات نبيتية رئيسة، خلال الرباعي، وهي: نبيت التوندرا الذي ازدهر في المستنقعات التي كانت تحاذي الجبهات الجمودية والتي كان عنصرها الرئيسي هو **Dryas octopetala**، وهو نبات الجبل العالي والمناطق القطبية، ونبيت **السهب** مع النجيليات وحزازيات Mousses، وحيث ظهر الصنوبر والسندر Bouleau، وأخيراً نبيت غابي مع الإيبيسيا Epicéas[1] وذوات الأوراق الكبرى (الزان والبلوط).



شكل ٣٠٩ ــ **توضعات الكهوف لما قبل التاريخ.**

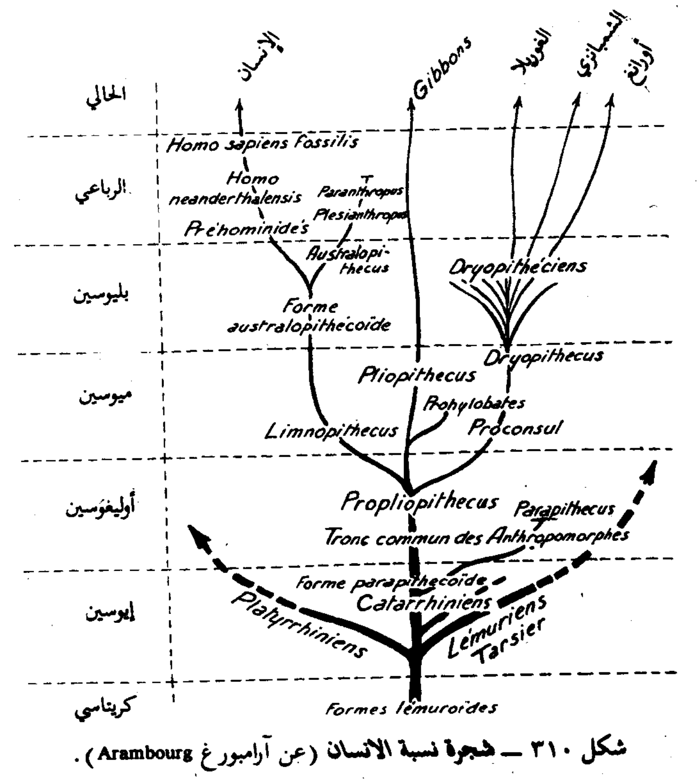
هـ ــ الانسان المستحاث ومصنوعاته

يتجه الظن حالياً، مع كثير من الاحتمال، أن الانسان قد انبعث من فرع خاص تفرَّد خلال الأوليغوسين انطلاقاً من جذع مشترك مع القردة الشبيهة الشكل بالانسان Anthropomorphes (شكل ٣١٠). وفي الإيوسين، انفصل هذا الفرع ذاته إلى فرعين ثانويين، أنتجا، من جهة، ألقردة Simiens الكبرى الرباعية المستحاثة **(Paranthropus, Plesianthropus, Australopithecus)**، ومن ناحية أخرى الانسان القديم Préhominidés (Pithécanthrope، الإنسان الافريقي Africanthrope،

---

(١) Epicéa وهي أحد أواخر النباتات الوافدة (قبل قليل من الحقب ère الحالي) إلى جبال الألب، على خلاف ما يمكن أن يخطر على بالنا، Cf. G. Dubois في مقالته **التحليل البوغي وتطبيقه على دراسة الاستيطان الغابي في جبال أوروبا الغربية** (مجلة الجغرافيا الألبية. XXVII، ١٩٣٩ ص٥٩١).

والإنسان الصيني Sinanthrope) في قاعدة الرباعي والتي غَدت الآن معروفة بشكل جيد نتيجة البقايا العديدة المستحاثة (شكل ١٥٨) . وهكذا تمكن نسبة فك Mauer الشهير (ضواحي هيدلبرغ) وأنقاض جمجمته وأسنان موقع Pilydown (Sussex في انكلترا)[1] ، وكلها مكتشفة في لحقيات رباعية سفلى ، والتي اعتبرت لمدة طويلة كأقدم بقايا الانسانية ، أقول يمكن نسبتها إلى هؤلاء أوائل بني البشر Préhominidés . ولم يظهر الانسان حقاً مع كل صفاته إلّا في الرباعي الأوسط ، ولكنه لا يزال نمطاً مختلفاً جداً عن **الانسان العاقل Homo Sapiens** والذي منح اسم انسان نياندرتال **Homo néanderthalensis** ، نسبة لقرية نياندرتال ، قرب مدينة دوسلدورف الألمانية ، حيث تم اكتشاف أوائل أنقاضه . وقد كان على هذا الانسان ، الذي عاش خلال آخر



شكل ٣١٠ ــ شجرة نسبة الانسان (عن آرامبورغ Arambourg) .

---

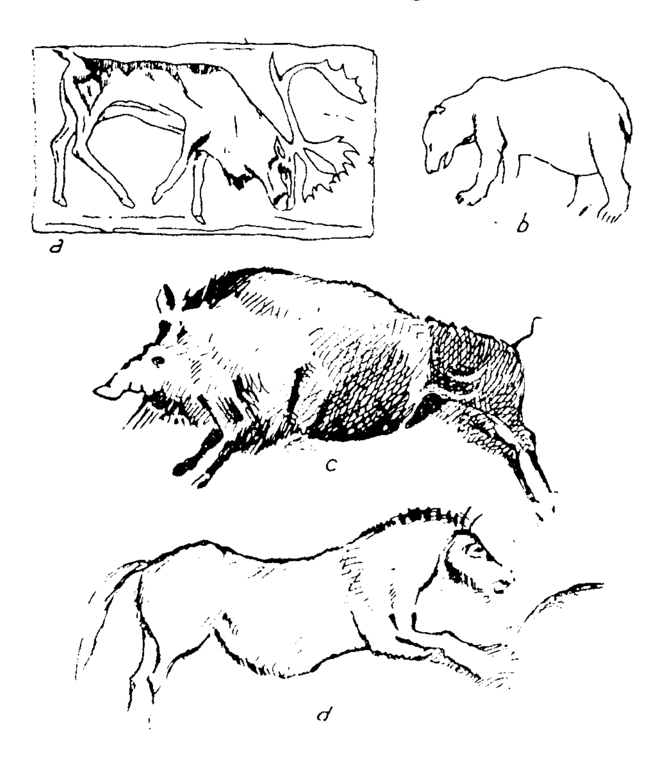
(١) لقد أظهر تدقيق هذه البقايا الشهيرة عن الإنسان المسمى إنسان بيلتدون بطريقة الفليئور (سابقاً ص ٣٠) أظهرت للباحث أوكلي K. P. Oakley ، إنها كانت حديثة وأننا في معرض عملية غش لا ريب فيها .

رباعي كبير (فورم)، أن يجابه أوضاعاً غاية في قساوتها. فقد كانت قامته قصيرة (٥٥ر١م على الأكثر) ولكنه ذو هيكل عظمي مقاوم يشير إلى جهاز عقلي غير مألوف، وكذلك قامة لم تكن مستقيمة تماماً. وقد كان ضخم الهامة والجمجمة مفرطة الطول، ومتميزة على الأخص بشدة نمو الوجه بالمقارنة مع الجمجمة وبقوسين حاجبيين رفرافيين متقدمين فوق العينيين. وهذا العرق المعروف تماماً بفضل العديد من الجماجم بل وحتى بهياكل عظمية كاملة (إنسان Chapelle-aux-Saints مثلاً والذي قام M.Boule بدراسته) كان ذا مظهر حيواني نوعاً ما، وعاش في سائر أنحاء أوروبا، وافريقيا الشمالية وحتى في أمريكا. وقد استطاع أن ينتشر إلى الجنوب كثيراً في القارة الافريقية، كما تؤدي ذلك الاكتشافات الحديثة في بروكن هيل في روديسيا (زيمبابويه) وذلك حتى عصر حديث نسبياً. وفي أيامنا ينظر إلى هؤلاء النياندرتاليين على أنه أرومة **الانسان العاقل المستحاث**، الممثل بأنماط تملك سلفاً الملامح الأساسية للعروق البشرية الكبرى التي انبثقت عنه شيئاً فشيئاً. العرق الأبيض مع نمط غرو مانيون، وأشباه المنغوليين، مع نمط شنسلاد Chancelade وأخيراً أشباه الزنوج مع نمط غريمالدي.

ولكن إذا كنا قد بدأنا في معرفة فن النحت la Plastique والسلالة المحتملة للإنسان، فإن هذه المعرفة تعود لعهد حديث، ولم يظهر لنا هذا الانسان، خلال مدة طويلة، إلا عن طريق بقايا صناعته، من شظايا، أزاميل، أو بلطات من صوان، منتشرة أحياناً بالآلاف من النماذج في اللحقيات الرباعية (شكل ١٥٩). ويمكن تأريخ هذه الأدوات أو هذه الأسلحة الآن بقدر كاف من الإحكام بفضل الوحيشات المستحاثة التي تختلط معها في هذه الطبقات. ولكن تقدم هذه الأشياء لحسن الحظ صفات مورفولوجية حاسمة نوعاً ما، بحيث يمكن، من وجهة النظر التصنيفية، إقامة تصنيف يسمح بتمييز زمرة كاملة من الصناعات المميزة والتي راحت تزيد اتقاناً تدريجياً خلال العصور، هذا بل وحتى، وهذا أمر هام، وضع كل من هذه الصناعات على علاقة مع صانعها، المختار من بين النماذج البشرية التي ورد ذكرها آنفاً.

ومن المعروف أن فترة ما قبل التاريخ تنقسم إلى عصرين كبيرين: عصر الحجر

المقصوص (الحجري القديم) وهو الأقدم وعصر الحجر المصقول (الحجري الحديث)، وهو أكثر فائدة للمؤرخ منه بالنسبة للجيولوجي.

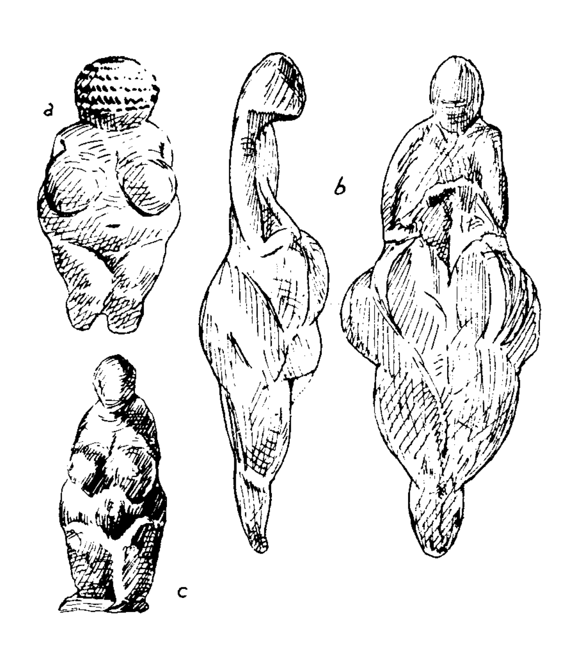


شكل ٣١١ ــ **ممثلات الوحيش الرباعي، كما رأها الانسان العاقل المستحاث**. a، وعل يقضم من مغارة تان Thain (سويسرا). b، دب الكهف في Mairie (فرنسا). خنزير بري augalot في مغارة التاميرا (اسبانيا). d، حصان أسود لمغارة Font-de-Gaume (دوردونيا في فرنسا).

وقد أمكن في **العصر الحجري القديم السفلي** تمييز **الشيللي le Chélléen** في القاعدة (نسبة إلى Chelles قرب باريس) أو آبيفيللي Abbevillien، المتميز بأداة تدعى «ضربة المقبض coup de poing»، وهي صوان ذو شكل شبه لوزي، مقصوص بشكل خشن من على واجهتيه (ومن ذلك جاء إسم «ثنائي الوجه» الذي أطلق عليه) مع الحرص على أن يترك قسم غير مقصوص عادة في نهايته بقصد الإمساك.

أما الصناعة التالية فهي صناعة **الآشولي Acheuléen** (نسبة إلى Saint-Acheul

قرب مدينة Amiens الفرنسية) والذي نتج عن إتقان وإحكام الصناعة السابقة عن طريق لمسات حاذقة ترمي إلى تنظيم حواف الأداة وللقضاء على تعرجات الشفرة. وتختلط معها أحياناً شظايا حادة، ناتجة عن تقصيب نويات الصوان، والتي أمكن استعمالها بعد لمسات أخيرة «رتوش». وعندئذ تحمل هذه الصناعة اسم الصناعة الكلاكتونية (نسبة لموقع Clacton قرب مدينة هارويش، في انكلترا).



شكل ٣١٢ ــ إنسان ما قبل التاريخ كما يرى نفسه. a، تمثال صغير من صخر كلسي من ويللندورف (النمسا). b، فينوس من العاج في موقع Lespugne (الغارون الأعلى). c، تمثال صغير من موقع Baoussé-Roussé (إيطاليا).

وقد سادت صناعة الشظايا ابتداءً من العصر الحجري القديم الأوسط، ولم تكن تظهر اللمسات إلّا على واجهة واحدة وأصبحت الأداة عبارة عن نصلة رمح أو مكشط. وتكون الشظايا الكبرى، المنبسطة والمتطاولة نوعاً ما، هي السائدة في لحقيات Levallois-Perret قرب باريس، ومنها جاء اسم **لوفالّوازي Levalloisien**، الذي أطلق على هذه الصناعة. وفي أواخر اللوفالّوازي، أصبحت ردميّات المغاور تحتوي على هذه الأداة المختلطة بنصال حجرية وثنائيات الوجهين الصغيرة. وبذلك

نصل إلى **الموستييري Moustièrien** (نسبة إلى موقع Moustier قرب مدينة Périgueux في فرنسا) .

وفي خلال العصر الحجري الأعلى تطورت صناعة العظام، مثلما تطور ذوق الفن والزينة . ونال الإتقان أيضاً أدوات الصوان بواسطة لمسات دقيقة على الحواف وعلى الأوجه تمخض عن نماذج متنوعة : نصال السهام، مثاقب، مكاشط، نصال، أزاميل... إلخ . وعند القاعدة يتميز **الأوريناسي Aurignacien** (نسبة إلى Aurignac في شمال بلدة Saint-Gaudens) بصورة دقيقة بظهور مصنوعات من العظم وبشفرات صوانية دقيقة اللمسات . ثم ظهر **السولوتري Solutréen** (نسبة إلى Solutré قرب مدينة Mâcon الفرنسية) وعصر الصوانات الرائعة على شكل أوراق غار، عريضة ومبسَّطة . وأخيراً بلغت صناعة العظم أوجها في **الماغداليني Magdalénien** (مغارة مادلين، مقاطعة دوردونيا) وأصبحت المكاشط الصوانية وفيرة جداً، وفي تلك البرهة أيضاً ظهر فن ما قبل التاريخ الذي نشأ لدى aurignaciens (تماثيل صغيرة متألّية (ضخمة الإلية) من العاج أو من الصخر الكلسي) (شكل ٣١٢) وشهد نهضته وبلغ دفعة واحدة اتقاناً مدهشاً (لوحات جدرانية متعددة الألوان في كهوف آلتاميرا في اسبانيا ومونتينياك في فرنسا، وأبقار وحشية من صلصال في موقع Tuc d'audoubert في إقليم Ariège في جنوب غرب فرنسا، ووعول مغارة Lorthet في جبال البيرينيه العليا، ورأس حصان في قرية ماسدازيل Mas d'Azil في اقليم آرييج المذكور ... إلخ) (شكل ٣١١) .

٢ ــ ترابط أو تناسب مختلف الظاهرات الرباعية

يكون من العسير إقامة هذا الترابط، كما سبق وقلنا في بداية هذا الفصل، بسبب تعدد وتعقيد الظاهرات الجيولوجية في هذا العصر، وتختلف التزامنات التفصيلية أيضاً حسب المؤلفين .

وعلى كل حال فمن الممكن أن نلاحظ أن كل طور جمودي كبير يجب أن يؤدي إلى تراجع مستوى البحر ، نظراً لتثبيت أحجام هائلة من الماء فوق القارات في حالة جليد[1] ، والذي سيصعد مستواه في أدوار التسخن وذوب الجليد[1] .

إذن يكون من المنطقي أن نقبل ، **أولياً** ومبدئياً ، بأن كل زحف جمودي سيكون متميزاً بانحسار بحري وبالتالي بانخفاض مستوى البحر وبمرحلة حفر أودية ، هذا في حين يجب أن يقابل كل دور بين جمودي طغيان بحري وردم في الأودية .

ولا تستطيع اللوحة القادمة تقديم أكثر من ترابط بين كل من هذه الظاهرات بصورة تبسيطية جداً وموقتة .

٣ ــ الجموديات الرباعية

أ ــ الجموديات الاسكندينافية

وقد نمت فيها الظاهرات الجمودية بأبعاد ومدى لا مثيل لها ، وكانت هناك « قبعة جليدية قارية inlandsis » . مماثلة لقبعة جليد جزيرة غروئنلندا ، وتزيد سماكتها عن ٢٠٠٠م في مناطقها الوسطى ، كانت تغطي الكتلة الجبلية الاسكندينافية وتسكب جليدها من سائر الأطراف (شكل ٣١٣) . وكان الجليد باتجاه بحر الشمال ، الذي كان كله مردوماً بالجليد ، كان يتلاحم بالجليد الذي كان يغطي إيرلندا وإيقوسيا وشطراً كبيراً من بريطانيا (مورينات ضاحية لندن) ، وكانت الجموديات تنساح ، جنوباً ، فوق سهول هولندا (منطقة أمستردام) وألمانيا (بوميرانيا وبراندبورغ ، والجلاميد التائهة في ضواحي برلين) وروسيا حيث كانت ملايين الكيلومترات المربعة قد تغرقت تحت هذه الطفوحات الجليدية .

---

(١) تقدر كتلة الجليد المتكدسة نتيجة ذلك فوق القارات بحوالي أربعين مليون كيلومتر مكعب في كل زحف جمودي .

لوحة افتراضية جداً تشير إلى ترابط الظاهرات الرباعية

المركبات النهرية ـــ الجمودية الأوروبية (ألمانيا وجبال الألب)	مصنوعات بشرية	أنماط بشرية	ثدييات	وحيشات بحرية (البحر الأبيض المتوسط)
				فلاندري
بحر ذو ليتورين Littorines	عصر البرونز	Homo Sapiens الانسان العاقل		
بحيرة ذات Ancylus .... مابعد الجمودي	حجري حديث			
بحيرة يولديا Yoldia	ماغداليني	Homo Sapiens fossilis	عمر وعل الرينه	وحيشات حالية
بحيرة البلطيق مرحلة تقهقر فورم	سولوتريني	الانسان العاقل المستحاث		
	أوريناسي			
زحف الفستولا الجمودي فورمي .... (مكلمبورغي) (لوس حديث، مورينات داخلية ومصاطب سفلى)		إنسان نياندرتال	وحيش بارد ذو ماموت	
ثاني فترة بين جمودية. ليغنيت متورق في سويسرا والسافوا	لوفاللوازي	؟ إنسان سوانسكومب وإنسان فونتشيفاد	وحيش حار ذو Elephas antiquus	
زحف جمودي سال Saale ريسّي .... (بولوني) (لوس قديم، مورينات خارجية ومصاطب عليا)	آشولي		وحيش بارد	
أول فترة بين جمودية. بريش هوتّينغ Hötting	كلاكتوني شيللي (آبوفيللي)	فك كهف موير Mauer وفك كهف ترنيفين (الجزائر)	وحيش حار	وحيش حار (تيّريني)
زحف إيلستر مينديلي .... (سكسوني) (لوس قديم جداً وحصويات الهضاب)	Préchelléen	Préhominidés	وحيش بارد	وحيش بارد (صقليّ)
حصويات الهضاب (Deckenshotter)		؟		
زحف غونز الجمودي (غونزي)			وحيش ذو Elephas antiquus	
طبقات Forest bed de Cromer الانتقالية			وحيش مختلط	
بليوسين أعلى (فيللا فرانشي)		؟	Elephas meridionalis	وحيش بارد (كالابري)

وقد أمكن التعرف على الجبهة القصوى التي بلغتها الجموديات إما عن طريق وجود فاللوم Vallums مورينية، أو لوجود جلاميد تائهة، كما أظهرت الملاحظات الجيولوجية، في داخل هذا السور الشاسع، أنه كانت توجد بقايا جمودية أخرى «متصندقة» ويمكن الفصل فيما بينها، استناداً إلى نضارتها، إلى مركّبين: الأول ينتسب إلى زحف جمودي حديث (مورينات داخلية) في حين يعود الآخر إلى زحف جمودي أقدم (مورينات خارجية). وقد أظهرت دراسة أعمال السبر العميقة التي تمت في منطقة برلين أن هذه المركبات كانت منفصلة بتشكلات بين جمودية وأنه، بالتالي، حدث هنا ما سبق أن حدث في جبال الألب، أن تقدم الجموديات لم يكن مستمراً، بل تذبذبياً.

وقد أمكن تبيان وجود ثلاثة زحوف جمودية في هذه المناطق الشمالية انطلاقاً من لحقيات قديمة من نمط Forest bed de Cromer.

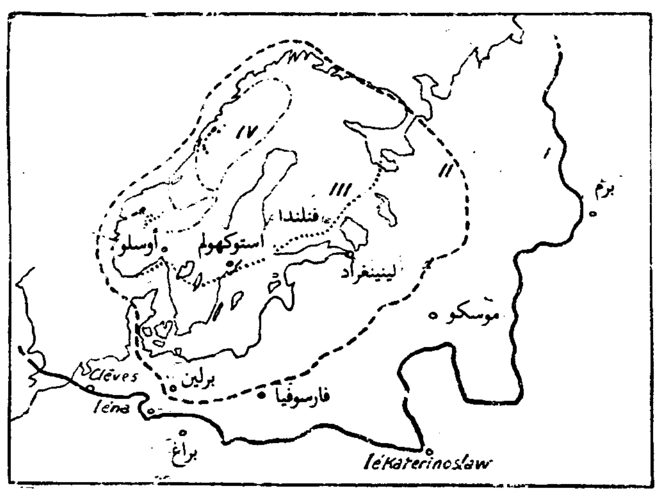
هذا وإن أول **زحف جمودي** كان زحف الستر Elster (نهر يمر من لايبزيغ) والذي تغطي موريناته غضاريات مشرّطة rubannées (غضاريات ذات حزامات Varves لدى الجيولوجيين الاسكندينافيين)، وهو الزحف الذي اندفع لأبعد مسافة إذ بلغ إقليم ساكس، وتورينج، ومنطقة ويزر Weser.

وقد كان هذا الزحف الجمودي منفصلاً عن التالي بدور بين جمودي (أول بين جمودي **interglaciaire**) والذي توضعت خلاله طبقات برلين ذات Paludines والغضاريات البحرية لخليج هامبورغ.

أما **الزحف الجمودي الثاني** أو زحف Saale الجمودي (في غرب لايبزيغ) فقد اندفع لأبعد من السابق في وادي الراين، وينسب إليه المورين الكبير لمنطقة Warthe الذي يمكن متابعته من وادي بوج Bug حتى جنوب هامبورغ.

وتتمثل الفترة الثانية **بين الجمودية interglaciaire** التي أعقبته بتشكلات المخثات tourbières أو البحيرية (تريبوليس Tripolis على الخصوص) والحاوية على نبيت flore مع **Brasenia purpurea** (نيلوفريات) وكستناء الماء، والطبقات البحيرية لوادي

إيم Fem في جنوب خليج زويدرزه الهولندي (طابق إيبمي **Eemien**) ذات الوحيش الشمالي. وقد كان لهذه الطبقات امتداد كبير وتمثل توضعات بحر بلطيقي قديم بين جمودي. ويجدر بنا أن نضيف إلى ذلك أنه تظهر إلى الجنوب من بحر البلطيق هذا تشكلات قارية كرمال ريكسدورف (قرب برلين) مع هياكل عظمية لثدييات وصخور ترافرتان المشهورة بجوار Toubach، قرب فيمار Weimar، حيث أمكن اكتشاف، في قاعدتها، أول طاسة جمجمة لإنسان نياندرتال، إلى جانب بقايا الفيل القديم **Elephas antiquus**.



شكل ٣١٣ ــ **توسع الجموديات الاسكندينافية في الرباعي (الرابعي)** I، التوسع الأقصى (مورينات خارجية). II، جمودية الفستولا (مورينات داخلية). III، المورينات الاسكندينافية الكبرى و **Salpausselka** في فنلندا (الجمودي الفنلندي). IV، بداية العصر التالي للجمودي، فقد انقسمت الجمودية إلى لسانين منطلقين من المراكز الجمودية الحالية (باللون الأسود) (نقلاً عن M.Gignoux).

غير أن **الزحف الجمودي الثالث** أو زحف الفستولا، تمَّ على ثلاث مراحل (مرحلة براندبورغ، مورينات بلطيقية خارجية، مورينات بلطيقية داخلية). وكان خاتمة دورة الأدوار الجمودية. ولكنه، نظراً إلى أنه كان أقل امتداداً من السابقين، فقد اقتصر على تغطية المناطق البلطيقية.

وقد كان هذا الزحف الجمودي الأخير متبوعاً بما نستطيع أن نسميه، **الأزمنة التالية للجمودية** Postglaciaires؛ أي العصر الذي عملت الجمودية الاسكندينافية

منذ بدايته على تحرير موقع البلطيق الحالي نهائياً ، هذا الموقع الذي تحول شيئاً فشيئاً إلى بحيرة واسعة. وراحت هذه البحيرة البلطية، بعد انحسار الجليد، تتصل مع بحر الشمال (مضيق السويد): ذاك هو عصر البحر ذي **Yoldia arctica**، الذي تشكلت فيه رواسب مشهورة هي الغضاريات ذات الحزامات Varves (الغضاريات المتورقة). وتقابل ثخانة كل من هذه الأشرطة لتوضع عام كامل[1]، ولهذا تكون هذه الرواسب ذات الحزامات عبارة عن ميقتة حقيقة **Chronographe**، سمحت للعالم دو جير **De Geer** أن يبرهن على أن بحر **بولديا** يعود لحوالي ٨٠٠٠ سنة قبل الميلاد.

ثم حدث انقطاع عابر للاتصالات مع بحر الشمال وتحول هذا البحر إلى بحيرة ذات **Ancylus Fluviatilus** (حوالي ٦٠٠٠ أو ٧٠٠٠ق. م) وفي هذه الفترة عادت الجموديات إلى نقطة انطلاقها في جبال اسكندينافيا[2].

وأخيراً حصل طغيان بحري جديد (طغيان فلاندري) ظهر أثره في آن واحد على ساحل منطقة الفلاندر وفي البلطيق، جلب معه، فضلاً عن المياه البحرية، مستحاثات وفيرة **Littorina littorea**، ذاك هو البحر ذو **Littorines**، وهو بحر داخلي أكثر ملوحة من بحر البلطيق الحالي، والذي يتصاقب مع استقرار مناخ أكثر حراً من الحالي. وبذلك نصل إلى آخر مرحلة من تاريخ البلطيق هذا والذي هي المرحلة الحالية المتميزة بمياهها ذات الملوحة المتبدلة (وجود قواقع بحرية أو بحيرية).

ويظل كل تاريخ البلطيق تحت هيمنة التطورات المناخية التي أدت إلى حدوث تعاقبات من أدوار باردة، منتجة للجليد، وأدوار حارة أدت لذوبانه. ولما كانت كل هذه الرسوبات البحيرية أو البحرية الحديثة واقعة حالياً على ارتفاع ما فوق مستوى البحر الحالي، فيجب التسليم بالضرورة، بأن الترس الفيني ــ الاسكنديناڤي قد ناء

---

(١) ولكن هذا الترسب ينطبق، على الخصوص، على أدوار ذوبان الجموديات، على فصل الصيف، لأنه في ذلك الوقت كانت السيول المنطلقة من الجبهات الجليدية تجرف أكبر قدر من الرسوبات الدقيقة المعدّة لأن تصبح أشرطة غضارية Varves.

(٢) وإجمالاً استدعى الأمر انقضاء ١٦٠٠٠ سنة كي تنسحب الجمودية الاسكندينافية من أقصى جنوب السويد حتى مجالها الحالي.

تحت الوزن الهائل لجليد القبعة وغاص من تحتها. ولكن منذ أن انسحبت الجموديات، فإن كل هذه المنطقة تنهض ببطء، مع بعض التأخير، وحسب معدل أمكن قياسه في أيامنا وبلغ قدره حوالي متر واحد في كل قرن.

ب ــ الجموديات الألبية

لقد كانت هذه الجموديات تغطي، في عصر اتساعها الأقصى، جبال الجورا، ومنطقة الدوفينيه، والسافوا، والسهل السويسري والسهل البافاري وذلك فوق رقعة تزيد عن ١٥٠٠٠٠ كم². وكانت كل تيارات الجليديات المنطلقة من الأودية الكبرى، متلاحمة كي تؤلف، على طول السلاسل الجبلية، نوعاً من جمودية السافح (الصدر) Piedmont مماثلة لجموديات آلاسكا الحالية.

وفي مقابل ذلك كانت الجموديات، في جبال الألب الجنوبية وفوق السفح الإيطالي، كانت تحتفظ بفردياتها، بأن بقيت في المناطق العليا أو عند مخرج الأودية الكبرى.

ولقد سبق لنا أن قلنا بأن بالإمكان أن نميز، في جبال الألب، وذلك ابتداءً من خط موريني للامتداد الأقصى، وفي اتجاه داخل السلسلة، أقول نميز تعاقباً من أقواس مورينية متصندقة تقابل أدواراً جمودية متأخرة أكثر. وهذه الأدوار هي، وذلك انطلاقاً من أقدمها إلى أحدثها، الغونزي، الميندلي، الريسي، والفورمي، وقد اقتبس هذه التسميات العالمان Penck و Bruckner، وهما الرائدان الكبيران في علم الجموديات الألبية، من أسماء أنهار في منطقة الألب البافارية والصوآبية، حيث تم اعتماد هذا التعاقب لأول مرة. ولما كانت مورينات غونز، ميندل، وريس شديدة الفساد ومحمّرة بفعل الحت، فهي لا تزال تدعى مورينات قديمة أو خارجية، وتتواصل مع المصاطب العليا. أما مورينات فورم، وهي أكثر نضارة، وقليلة الفساد نسبياً، فتدعى مورينات داخلية، وهي على علاقة مع المصاطب السفلى.

أما في الجزء الشمالي من جبال الألب الفرنسية، حيث تمت دراسة الرسوبات

بعناية أكبر بكثير (شكل ٣١٤)، فإن الهجمات الجمودية قد تجلت في ثلاثة نطاقات، هي وادي الرون، وادي Biévre-Valloire (وهو اليوم ميت). وأخيراً في جنوب وادي إيزير Isère .

وكانت الجموديات، في امتدادها الأقصى، تغطي الهضاب المولاسية أو الكلسية التي تفصل بين هذه المنخفضات. ولما كانت الموجة الجمودية قادمة من الشمال عن طريق أودية دومب Dombes فقد بلغت الحافة الشرقية للماسيف سنترال عند مدينة ليون (مورينات Fourviéres ، الحصاة الكبرى عند Croix Rousse)، وكان السيل الجمودي، الذي كان في ذلك العصر، ينبثق بين ليون و Bourg ، في موقع Echets ، مضطراً، ابتداءً من هذه النقطة، أن يتجه نحو مكان مجرى نهر الساوون Saône الحالي، وثم قليلاً إلى الغرب من مدينة ليون كي يلتحق بوادي الرون الحالي عند مدينة Vienne .

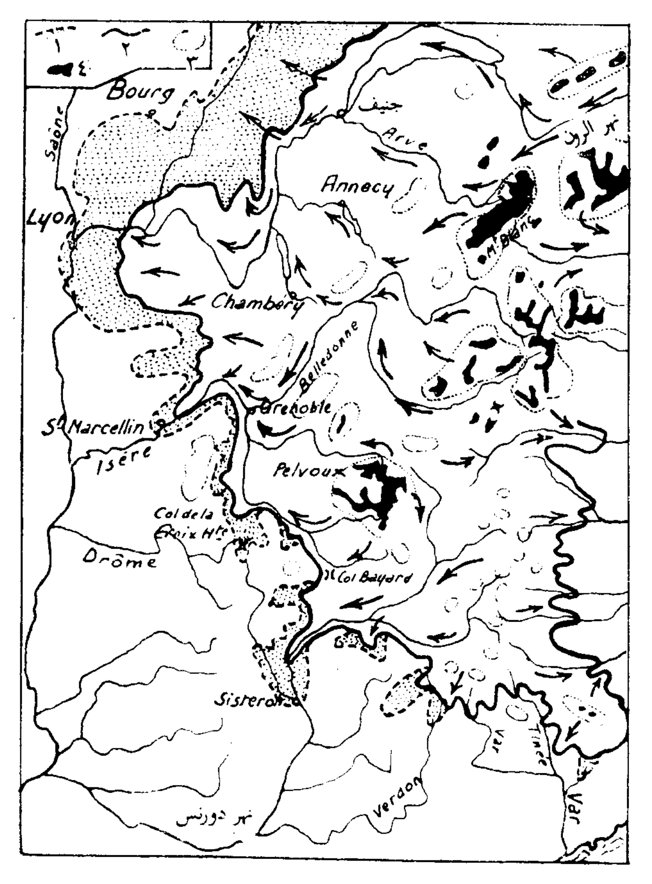
وقد كانت الجبهة الجمودية محدودة فيما وراء مدينة Vienne بالحافة الشمالية لهضبة Bonne Vaux ومن ثم، وبعد هجمة جديدة في منخفض Bièvre-Valloire إلى الغرب من Rives ، أصبحت تتحدد بهضبة Chambarand . وكان نهر الإيزير القديم، المنطلق من مخروط انتقالي يتعلق مع مورينات Faramans (مورينات خارجية)، كان يبني عندئذ مصطبة Tourdan (مصطبة على ارتفاع ٦٠م) والذي راح يلتحق بنهر الرون عند موقع Saint-Rambert d'Albon .

أما في وادي إيزير الحالي، فقد كانت الجبهة الجمودية تبلغ، في ذلك العصر ضواحي بلدة سان مارسيلان Saint-Marcellin .

وقد تركت الهجمة الجمودية الثانية آثارها في داخل خط المورينات الخارجية، وهي آثار مشوشة في منطقة ليون، ولكنها أكثر وضوحاً في منطقة غرينوبل والمعروفة عن طريق مورينات Côte Saint-André وتتواصل مع مصطبة على ارتفاع ٣٠م (= مرحلة Warthe في الجموديات الاسكندينافية).

وأخيراً أمكن تمييز زحف جمودي ثالث بفضل مورينات داخلية، أو فورمية،

وهي أكثرها نقاءاً وأكثرها سهولة من حيث اقتفاء أثرها. وفي هذه البرهة لم تكن جمودية الرون تتجاوز جبال الجورا الجنوبية إطلاقاً عن طريق « كلوز des Hôpitaux »،



شكل ٣١٤ ــ **خارطة الجموديات الرباعية في جبال الألب الفرنسية**. ١، التوسع الجمودي الأقصى (جبهة المورينات الخارجية). ٢، جبهة المورينات الداخلية. ٣، المراكز الرئيسية للزحوف الجمودية الرباعية. تشير الأسهم لاتجاه جريان الجليد.

بل كانت تلتف لتتفاداها (مورينات جانبية في Virieu والروسيّـون) من الجنوب أكثر مواكبة مجرى نهر الرون الحالي كي تبلغ السهل عند Lagneu (مدرج موريني جبهي عند Grenay). وتترابط هذه المورينات جميعاً بمصطبة سفلى تطل على الرون الحالي من علو خمسة عشر متراً تقريباً. هذا ولا تتجاوز جمودية إيزير أبداً عتبة Rives المولاسية

وتكون المخاريط الانتقالية على علاقة مع المصاطب التي تشكل القاع، والذي هجره وادي Bièvre-Valloire (واد ميت) في الوقت الحاضر. وكما حدث بالنسبة للزحوف الجمودية السابقة، فقد تقدم لسان عن طريق إيزير الحالي، غير أن الوادي لم يحتفظ به. هذا وتشير مورينات جانبية بديعة، في داخل الوديان الألبية، تشير، على ارتفاع مقداره ١٠٠٠م تقريباً، إلى مرور هذه الجمودية الفورمية (مورينات Belledonne الجانبية). وقد صعدت هذه الجمودية الفورمية في اتجاه العالية، في فترة التقلص، ولكن مع توقف بل وحتى معاودة نمو، واللتين ترسمان، فيما وراء الجبهة القصوى لبعيد، ترسم عدداً لا بأس به من Vallums مورينية (مراحل التراجع الفورمي).

وقد أمكن التعرف بين المورينات الفورمية ومورينات الهجمة السابقة (ريسّي) في داخل أو عند مخرج الأودية الألبية (غابة Bathie، قرب جنيف، Voglans، قرب شامبيري، Grésivaudan وغضاريات Eybens قرب غرينوبل) على لحقيات بين جمودية interglaciaires، وأحياناً مع ليغنيت قابل للاستغلال، مماثل للفحم المتورق في ضواحي زوريخ والذي يكون وضعه الستراتيغرافي مماثلاً.

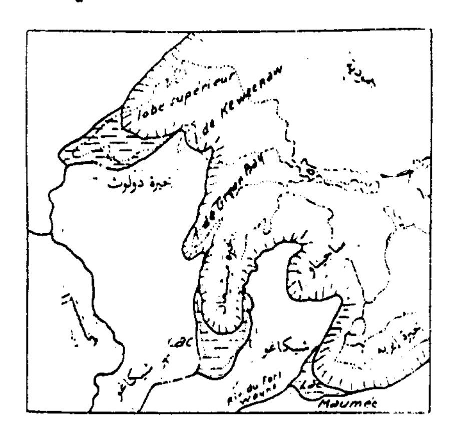
جـ ـــ الجموديات البيرينية

لقد تركت هذه الجموديات آثاراً عن مرورها على قسم كبير من حافة السلسلة، وعلى كل حال، تسترعي الفاللوم Vallums الضخمة المورينية، في كل الأودية تقريباً، الانتباه إلى توقف الجبهات الجمودية عند مخارجها في السهل شبه البيريني. وقد كانت إحدى أجمل الجموديات هي التي كانت تنشأ في حلبة Gavarnie، ومن ورائها، عن طريق وادي Argelès، لتبلغ تقريباً منطقة لورد Lourdes. وقد كان لجمودية Gave de Pau طولا يتجاوز ٥٥كم وسماكة، تجاه Argelès، تقارب ٨٠٠م.

د ـــ الجموديات الأمريكية

لقد كانت أمريكا الشمالية، خلال الحقب الرابعي، فريسة جموديات شاسعة،

تقدمت، بعد هبوطها من جبال الروشوز والترس الكندي، حتى منطقة سان لويس، باتجاه مقرن نهر الميسيسبي مع نهر الميسوري. وتعتبر بحيرات أمريكا الشمالية الكبرى كإرث عن هذا الدور (شكل ٣١٥ و ٣١٦). ويمكن تفسير توزعها وكذلك الاتجاهات المستغربة للشبكة الهيدروغرافية في هذه المنطقة، بالتاريخ الجمودي glaciaire. وفي الواقع، وفي فترة تراجع الجليد، كان الانحسار الجمودي في اتجاه الجنوب الغربي هو الأكثر سرعة، وهناك تشكلت، عند جبهة القبعة الجمودية، وفي المنخفضات القديمة، أوائل الأغشية البحيرية الكبرى. وهكذا نشأت بحيرة العليا وبحيرة ميشيغان وبحيرة إيريه وراحت مصارف مياهها تتجه نحو نهر الميسيسبي.



شكل ٣١٥ ـــ جموديات أمريكا الشمالية. بداية تشكل البحيرات الكبرى. لقد نشأت أغشية بحيرية ثلاثة في مقدمة الفصوص الجمودية الثلاثة (تايلور وليفريت) (خطوط منقّطة تشير لحواف البحيرات المذكورة).

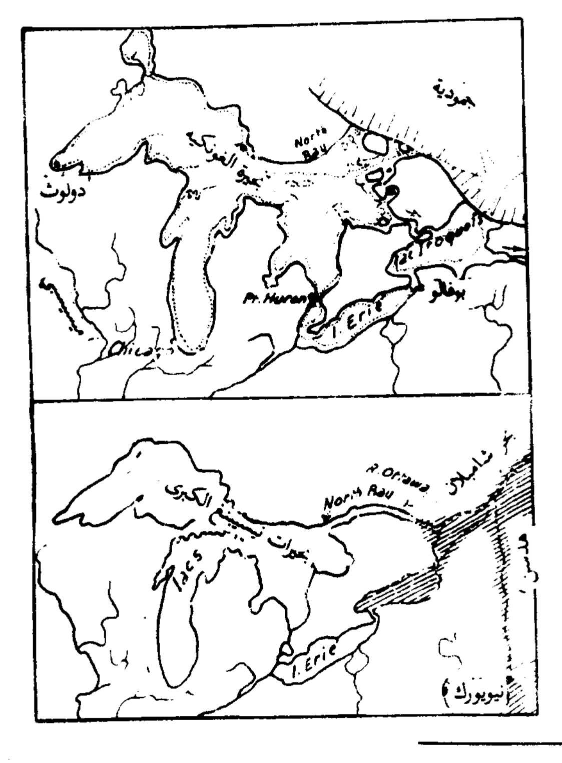
ومع استفحال تقهقر الجموديات فقد راحت الرقع البحيرية تتوسع على حساب المنخفضات التي تخلت عنها الجمودية. وأخذت بحيرة هورون بالتفرُّد انطلاقاً من خليج ساجيناوْ Saginaw الحالي وبعد أن تخلت مياه بحيرة ايريه عن مصرفها الجنوبي، راحت تنسكب في بحيرة ميشيغان التي اتصلت، في الشمال، مع بحيرة سوبريور (العليا). ولم يكن لهذه البحيرات الأربع عندئذ سوى مصرف مشترك نحو الميسيسبي، فوق موقع مدينة شيكاغو.

ولما كانت المناطق الشرقية قد تحررت من الجليد بعد قليل، فقد تمددت كل من بحيرة ايريه وهورون في هذا الاتجاه.

ومن ثم تحررت منطقة أونتاريو من جليدها، وبعد أن تخلت كل البحيرات عن

مصرف émissaire شيكاغو ، اتخذت اتجاه موهاوك Mohawk ، فوجهت بذلك مياهها نحو المحيط الأطلنطي التي نفذت مياهه للقاء المياه العذبة سواءً عن طريق هدسن والموهاوك أو عن طريق موقع نهر السان لوران الحالي . وفي هذه المرحلة انصرفت مياه البحيرات نحو البحر بواسطة بحيرتي ايريه وأوتاوا .

وقد نتج عن النهوض العام للترس (أو المجن) الكندي(*) الذي تخلّص تدريجياً من وطأة ثقل الجليد، أقول نتج تراجع البحر وانغلاق مجرى موهاوك وأوتاوا . وهكذا اندفعت مياه بحيرات العالية الثلاث نحو بحيرة ايريه ، ثم من هناك نحو بحيرة أونتاريو بواسطة نهر نياغارا ، وأخيراً نحو السان لوران ، وذلك بعد العديد من التغيرات .



شكل ٣١٦ ـــ تشكل البحيرات الكبرى
في الأعلى: تشكل البحيرة الآلغونكية، وكانت الجمودية في طريقها للتراجع (تايلور) وفي الأسفل، مرحلة بحيرة Nipissing وجريان نهر أوتاوا نحو بحر شامبلان (تايلور) .

(*) هناك خطأ شائع ولكنه يدل على جهل عظيم بمدلول الألفاظ ، وهو ترجمة كلمة Socle الفرنسية أو Schield الانكليزية بكلمة درع، والصحيح هو ترس أو مجن وما على القارئ إلا أن يرجع إلى أي قاموس أو زيارة أي متحف حربي ليكتشف الحقيقة . والأنكى من ذلك أن تستعمل هذه العبارة لدى القوات المسلحة فيقال درع القوات البهة والمقصود به شكلاً وموضوعاً هو الترس القاسي ، في حين يتصف الدرع ، أو الزرد ، بالمرونة .

٤ ـــ الظاهرات البركانية خلال الرباعي

لقد راحت الانبثاقات البركانية التي تجلت خلال النيوجين، في منطقة الماسيف سنترال، والتي أدت إلى بناء أجهزة منطقة Velay، و Cantal و Mont-Dore، راحت تتابع خلال الدور التالي. ففي خلال البليوسين كانت منطقة كانتال عبارة عن بركان جسيم يبلغ ارتفاعه قرابة ٣٠٠٠م مع محيط عند القاعدة يبلغ قطره ٧٠ كم، ولكن منذ بداية الرباعي، انتهت الثورانات البركانية وعمل الحت على تقطيع أوصاله وهبط ارتفاعه شيئاً فشيئاً إلى ١٨٥٣م. أما جبل موندور Mont-Dore، الذي كان في أوج نشاطه في البليوسين مع مراكزه الثلاثة وهي Sancy و Aiguiller و Banne d'Ordanche، فلم يكن يقدم، خلال الرباعي، سوى مسكوبات بحيرة Pavin وبحيرة Chambon.

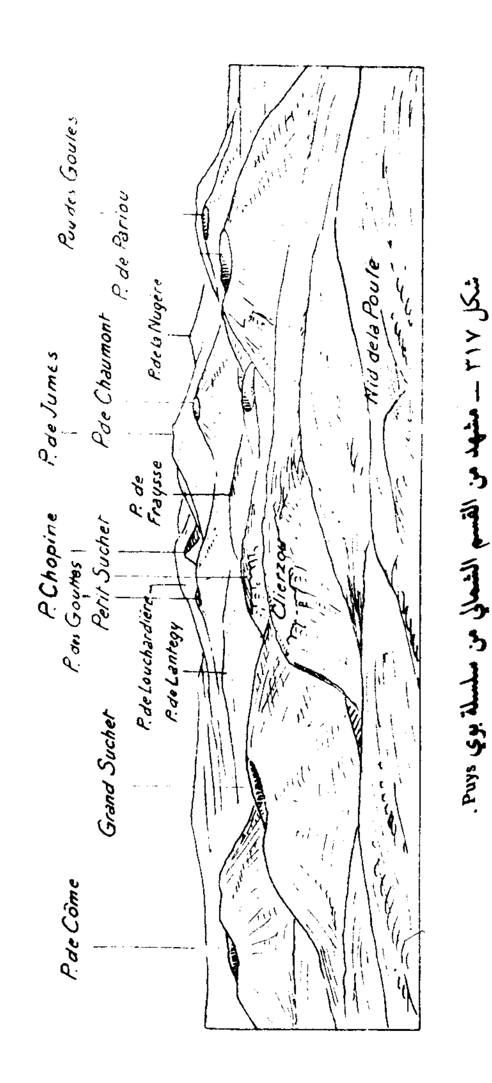
ولكن، وفجأة، خلال الرباعي، اتّقدت مراكز بركانية جديدة، في سلسلة بوي Puys (شكل ٣١٧) ثم من الطرف الآخر من كتلة الماسيف سنترال، في إقليم Vivarais، وشيَّدت ٤٨٠ فوهة وصبت موجات من اللابات فوق كل المنطقة. وبعد أن نال الحت من هذه البراكين تحولت إلى قباب. وأشهر مثال عنها هو Puy-de-Dôme وهي عبارة عن عنق مدخنة ضخم من التراكيت (دوميت) محاط ببريشات شبهها لاكروا A. Lacroix ببريشات الانهيار التي كانت تصاحب صعود مسلة جبل بيليه Pelée.

وفيما عدا هذه البراكين، الأفضل احتفاظاً ولكنها مشدوقة فقط، بأن هناك براكين أحدث وهي براكين بوي Puys (شكل ٣٠٩). وقد جرى حساب مفاده أن سلسلة بوي في Auve rgne لوحدها قد أطلقت أكثر من ١٥٠٠ مليون متر مكعب من اللابات البازلتية و ٥٥٠٠ مليون متر مكعب من منتجات المقذوفات، دون أن ندخل بالحسبان، طبعاً، الرماد البركانية الذرورية التي حملتها الرياح لبعيد. وتبدو بعض هذه البراكين، التي تكون محفوظة بشكل رائع، تبدو وكأنها قد خمدت بالأمس، وتراود

الإنسان فكرة فوراً مفادها أن رقاد هذه الأجهزة ما هو أكثر من خمود عابر وأن بإمكانها أن تستيقظ في يوم ما .

* وعلى كل حال، لقد كان الإنسان شاهداً على أواخر ثورانات الماسيف سنترال (إنسان مستحاث في بركان Denyse) وقد أمكن التوثق من عمر هذه المسكوبات الأخيرة التي اندفعت أحياناً لمسافات بعيدة جداً، تجاوزت مسافة ٢٢ كم، لأنها ترقد فوق الحقيات ذات هياكل عظمية للماموت، كما تكون مغطاة بحصباء تضم وحيش عصر الرينه. إذن لقد تمادت الظاهرات البركانية في الماسيف سنترال حتى فجر العصور التاريخية [١] .

ولم يكن النشاط البركاني، في ذلك الزمن، أقل حيوية في المنطقة الرومية (البحر الأبيض المتوسط)، ولا سيما في إيطاليا حيث بدأ كذلك في البليوسين. ففوق صخور التراكيب وصخور الطف الرباعية تم



شكل ٣١٧ ـ مشهد من القسم الشمالي من سلسلة بوي Puys. مأخوذ من قمة Puy-de-Dôme (نقلاً عن رسم M.Boule).

(١) ي. ل. بنتور. **سلسلة بوي (الماسيف سنترال الفرنسية)**. نشرة مصلحة الخارطة الجيولوجية الفرنسية. رقم ٢٤٢، ١٩٥٥).

Roques. M. itinéraires géologiques en Auvergne (Rev. des. Se. Nat. d'Auvergne Vol. 22. 1956)

تشييد جهاز Somma لبركان فيزوف، وهو بركان جسيم قوضه وأطاح به انفجار ونما في داخله (Atrio del Cavallo) بركان فيـزوف الحالي، وهـو نموذج ضامـر عن جهـاز Somma، والذي تعاقبت أضراره منذ العصور القديمة حتى أيامنا. ويطلق على أمثال هذه الدرجات الناتجة عن الانفجارات أو عن الانهيارات اسم كالديرا Caldeiras أو مراجل، وهـي كلمـة اسبانيـة مقتبسة من عبـارات أهـل جزر آصور وكنـاري (الخالدات). وهكذا تمت الإطاحة ببركان كراكاتوا في عام ١٨٨٣، بين جزيرتي جاوا وسومطره، ومن ثم قام في داخل الكالديرا الناشئة، والتي اجتاحتها مياه البحر، بركان كراكاتوا صغير، قوضته الأمواج حالياً.

هذا وتشكل جزيرة الريئونيون جهازاً بركانياً واسعاً (قطـره ٧٠كم) يتنـاوشه ا.مت، وله كالديرا كبيرة يقع في الجنوب الشرقي منها بركان Piton de la Fournaise والذي لا يزال ناشطاً.



شكـل ٣١٨ ــ البـــوي السوداء، وبـركان Lassola وبـركان La Vache. فوهـــات مشدوقـــة انطلـــقت منها المسكوبات التي أنتجت سطوح «شير Cheire» ذات السطح الوعـر الخشن. وهي أحدث براكين الماسيف سنترال وعمرها ٥٧١٤ سنة.

الجزء الخامس

تمثيل الصفات الجيولوجية لمنطقة ما بالرسم
الخرائط الجيولوجية

يمكن التعبير عن الصفات الجيولوجية الجوهرية عن منطقة محددة عن طريق الرسم بواسطة خرائط جيولوجية، والتي يمكن تعريفها بأنها خرائط طبغرافية محمّلة بإشارات متعلقة بمختلف التكوينات الجيولوجية التي تتكشّف فوق أرضية الخارطة المقصودة. وتنبئ كل خارطة جيولوجية عن طبيعة وسحنة الكتل المعدنية الممثلة، وكذلك عن بنيتها. إذن يمكن اعتبارها كتركيب لكل ما سبق عرضه في الصفحات السابقة ولا يمكن لأي تطبيق، شأن أي بحث نظري في هذا المجال، أن يستغني عن إعداد مسبق لخارطة جيولوجية جيدة. ولهذا السبب إذن نعتقد، قبل الفراغ من هذا المؤلَّف، وجوب تقديم بعض معلومات موجزة عن مختلف الخرائط الجيولوجية التي هي تحت تصرفنا، وكذلك عن الطرائق المستخدمة لإنجازها ضمن أفضل الشروط المستطاعة.

الفصل الأول

الخرائط الطبغرافية

وتشكل الأرضية التي لا غنى عنها للخرائط الجيولوجية لأنها تمثل، على الورق، صورة أرض منطقة ما، ولكنها صورة مصغرة جداً. ويطلق على التصغير عبارة المقياس ويشار إلى هذا المقياس بكسر: ١ / ٥٠٠٠، ١ / ١٠٠٠٠، ١ / ٨٠٠٠٠ ... إلخ، مما يعني، أن مقياس الخارطة إذا كان ١ / ١٠٠٠٠ مثلاً، فإن طول خط تم قياسه فوق الخارطة هو ١٠ من ألف جزء من الطول المطابق المقاس فوق الأرض.

ويمكن كتابة الصيغة العامة لمقياس على الشكل التالي: $\frac{١}{ع \times ١٠٠٠}$، حيث ١ = ١م وتمثل ع عدد الأمتار. وتسمح هذه الصيغة بالحصول فوراً على مطابقات الطول بين الخارطة والأرض. وهكذا فبالنسبة لخرائط من مقياس ١ / ٨٠٠٠٠ ($\frac{١م}{٨٠م \times ١٠٠٠}$)، ١م من الخارطة يمثل ٨٠م على الأرض[1]، ولنلاحظ فضلاً عن ذلك أن الأطوال هي التي ينالها التصغير بنسبة ١ / ٨٠٠٠٠ بالنسبة للمثال المختار، نظراً لأن المساحات مصغرة بنسبة أكبر بكثير.

---

(١) ويمكن إعطاء هذه المطابقات مباشرة بالمقياس الخطي، وهو خط مستقيم مقسم إلى أجزاء متعادلة والتي تمثل عادة كيلومترات أو أجزاءها.

وعندما يكون مقياس الخرائط صغيراً (١/ ١٠٠٠٠٠٠ على الأقل) فإن الخرائط تدعى عندئذ خرائط جغرافية. وإذا كان المقياس أكبر من ذلك فهي خرائط طبغرافية. وإذا تجاوز المقياس ١ / ٥٠٠٠ تصبح الخرائط الطبغرافية عبارة عن مخططات Plans.

ولكن يمكن استخدام كل الخرائط المختلفة المقياس في الجيولوجيا ولا سيما القاع الطبغرافي من مقياس ١ / ٨٠٠٠٠ لخارطة الأركان التي تعتبر أساس الخارطة الجيولوجية في فرنسا.

وهكذا تكون أرض الجمهورية الفرنسية مقسمة إلى خرائط تبلغ أبعاد كل منها ٨٠سم على ٥٠سم (أي ٦٠ أو ٤٠ كم تطابق مساحة ٢٤٠٠ كم²). وتحمل كل خارطة رقماً واسماً هو اسم المدينة الرئيسية الموجودة فيها [١].

ويجب أن نميز فوق خرائط طبغرافية كهذه المساحية planimétrie والتضريس. فالمساحية هي مجموع الرموز الاتفاقية التي تمثل المدن، والطرق، والخطوط الحديدية، والقنوات، والحدود الادارية... إلخ؛ أي تمثل الجزء الاصطناعي من الأرض، باستثناء الأنهار.

أما بالنسبة للتضريس، فعلى الرغم من تمثيله برموز اتفاقية، فهو يطابق الأجزاء الطبيعية من الأرض (مورفولوجيا).

وقد تمثل التضاريس أحياناً بخطوط السبطة hachures (وهي حالة الخرائط الفرنسية من مقياس ١ / ٨٠٠٠٠) وتكون هذه الخطوط أكثر قصراً وأكثر تقارباً، وأكثر سماكة، كلما كان الانحدار أكثر شدة. أما على الخرائط الأخرى فتستخدم خطوط التسوية (كنتور) التي تكون بالفعل نقطة انطلاق خطوط السبطة (الهاشور)، لأن الأساس fonds (قاع) الأصلي لخرائط الأركان الفرنسية من مقياس ١ / ٨٠٠٠٠ مؤلف من منحنيات تسوية ويمكن بسهولة الانتقال من نموذج لآخر وذلك بقبول

(١) هناك تكبيرات لكل هذه الخرائط من مقياس ١ / ٥٠٠٠٠.

تناسبية Proprotionnalité بين مسافة المنحنيات ومسافة خطوط الهاشور، التي ترسم عادة بصورة متعامدة مع منحنيات التسوية.

إذن كلما كانت المنحنيات (التي تكون المسافة المتساوية بالواقع معروفة) متباعدة، كلما كانت الهاشور ذاتها متباعدة وكلما كان انحدار الأرض الممثلة ضعيفاً، وفي الحالة المعاكسة (منحنيات متقاربة، هاشور متراصة)، فإن انحدار الأرض سيكون أكثر حدة[1].

أضف إلى ذلك أنه تم تنفيذ خطوط الهاشور، في خارطة الأركان الفرنسية، في فرضية أن التنوير سمتياً، مما يجعل كل السطح الأفقي فيها أبيض. ولكن أصبحت فرنسا الآن تملك خرائط خطوط تسوية (كنتورية) من مقياس ١ / ٥٠٠٠٠ بثلاثة ألوان، يفترض فيها أن النور يأتي من الشمالي الغربي. وقد أصبحت هذه الخارطة البديعة، ذات منحنيات التسوية المتباعدة بمقدار ١٠م في السهل و ٢٠م في الجبل، منذ وقت قريب جداً، ناجزة.

هذا ولدى فرنسا أيضاً خرائط أخرى مماثلة ذات منحنيات تسوية من مقياس ١ / ١٠٠٠٠ و ١ / ٢٠٠٠٠ (وهي مخططات موجّهة تم رسمها خلال حرب ١٩١٤ ــ ١٩١٨ وأصبحت تشمل فيما بعد المناطق الجبلية الواقعة على الحدود).

وفضلاً عن هذه الخرائط ذات المقياس الكبير، تملك فرنسا خرائط طبغرافية ممتازة، ذات مقياس أصغر بكثير، ولا سيما خرائط من مقياس ١ / ٣٢٠٠٠٠ و ١ / ٢٠٠٠٠٠ (مستمدة من خريطة الأركان) وخارطة من مقياس ١ / ١٠٠٠٠٠ وهي الخارطة القديمة لدى وزارة الداخلية (تدعى خارطة مصلحة الطرق القروية) بخمسة ألوان.

---

(١) يجب الإقرار بأن خطوط السبطة (الهاشور) في خارطة أركان الحرب الفرنسية تكون أحياناً مزعجة بسبب كثافتها ولقلة مناسبتها لرسم التخوم الجيولوجية، إلا أن الانطباع الإجمالي يكون رائعاً فوق مأطورة تجميع Panneau d'assemblage، لا سيما بالنسبة لمنطقة جبلية كجبال الألب.

الفصل الثاني

الخرائط الجيولوجية

I ـــ تعاريف

لقد رأينا قبل قليل أن هدف خارطة جيولوجية ما، هو تمثيل تخوم وطبيعة مختلفة الصخور الملحوظة في منطقة ما فوق قاع طبغرافي مختص، وذلك بافتراض أن التربة الزراعية غير موجودة [1]. وخارطة كهذه يجب أن تمثل على شكل مستوٍ مسار وملامح « انكشافات أو مكاشف affleurements » الصخور؛ أي أجزاء الطبقات أو الصخور الكتلية التي تكشف عن نفسها على سطح الأرض أو تحت التربة النباتية. غير أن هذه الانكشافات تنتج عن تقاطع السطح البنيوي مع سطح الأرض، الذي هو عبارة عن سطح حتي، وهكذا يكون شكلها إذن من أكثر مايكون تنوعاً، كما سنرى ذلك فيما بعد.

II ـــ تصميم الخرائط الجيولوجية

يجب على الجيولوجي الذي يقصد الحقل في منطقة يرغب بالقيام برفع خارطتها

---

(١) وعلى العكس فإن بعض الخرائط لا تمثل سوى التربة الزراعية وتدعى خرائط التربة agrologiques .

أن يكون مجهزاً بخريطة طبغرافية جيدة، وبعدد صغير من الأجهزة (مطرقة، عدسة مكبِّرة، بوصلة، مِرفاع altimètre كراسات وأقلام ملونة) وأن يهتم أولاً بصنع السلّم الستراتيرافي النموذجي، الذي يستطيع لوحده أن يقوده بشكل مفيد خلال استقصاءاته. وعليه، من أجل ذلك، أن يستكشف كل المقاطع الطبيعية (مسيلات، جروف ... إلخ) أو اصطناعية (حدورات الطرق، المحاجر ... إلخ) في الأرض، وأن يسجل، في كل مرة، ما سبق ودعيناه المقطع المحلّي. وستقود هذه المقاطع، بعد تفسيرها استناداً إلى طرائق الستراتيغرافيا الباليئونتولوجية أو البتروغرافيا، إلى إعداد مقطع إقليمي، وذلك حتى في غياب وثائق دقيقة تسمح بتقسيم فرعي مباشر إلى طوابق جيولوجية.

وقد يتغير هذا العمل التمهيدي حسب المناطق. ففي منطقة الألزاس، مثلاً، حيث يكون كل شيء محجوباً بالتربة الزراعية بصورة متفاوتة، فيجب دراسة التربة التي تكون، دائماً على علاقة بالصخور المختفية، وتنتج عن تفككها. وهكذا نجد مثلاً، في المناطق الترياسية، أن تربة غضارية حمراء تشير إلى وجود طابق كوبر (غضاريات حمراء)، كما أن تربة رملية، هشة، تشير إلى طابق الحث المبرقش، وأخيراً فإن تربة كلسية ستكون على العموم قرينة على وجود طابق الموشلكالك. هذا كما أن النبات قد يساعد الجيولوجي خلال أبحاثه هذه، فبعض الأشجار (شوح، جوز، دردار Orme)، وبعض النباتات (خشخاش، برباريس) تحب الترب الكلسية، في حين أن النباتات الأخرى مثل (كستناء، قمعية، وزّال، خلنج) تفضل الترب السيليسية، وأخيراً ترجح بعض النباتات أن تنمو فوق الترب الغضارية مثل ذنب الفرس Prêle، نعنع، حشيشة السعال وعلى العموم كل النجيليات الزاحفة [١].

(١) هناك بعض النباتات التي قد تكون كاشفاً دقيقاً لبعض الفلزات. وهكذا فإن نبات **Viola luta var**، **Calminaria** و **Ehlapsis calminare** تتميَّز الترب الحاوية على نسبة معينة من الزنك، أما نبات **Amorpha canescens** وبعض أنواع أجناس **Rhus** و **Sassafrus** تشير في بعض المناطق الأمريكية لوجود galène (كبريت الرصاص) أما نبات **Polycaepea spirostylis** فهو كاشف مؤكد للنحاس في إقليم كوينسلاند الاسترالية، كما هو حال نبات **Armeria maritima** في زامبيا أو زيمبابويه ونبات **Acrocephalis** في إقليم شابا في زائير وأخيراً فإن نبات **Erigonium ovalifolium** يعتبر كاشف الفضة في ولاية مونتانا بالولايات المتحدة في حين تكون الترب الفوسفاتية على الخصوص معروفة بنبات **Convolvulus al'heoides**. ولنضف إلى ذلك أن بعض النباتات، التي تسمى المؤشرة ←

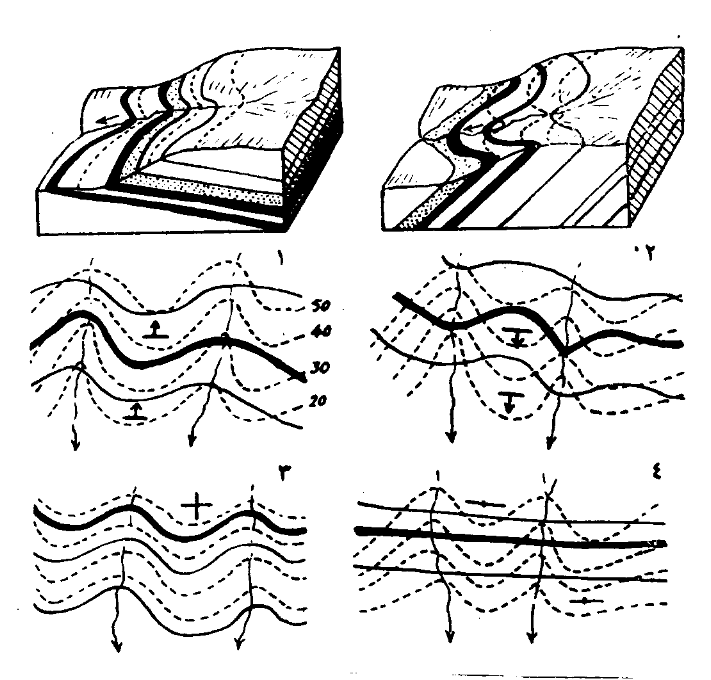
ففي جبال الجورا، وفي جبال الألب، تكون المقاطع على العموم ملحوظة بشكل طيب بسبب الالتواء والحت الذي كشف أشرطة من الصخور من طبيعة مختلفة، تكون، بالتناوب، كلسية (وعندئذ تعطي جروفاً يسهل متابعتها حسب اتجاهها) ومارنية (مؤلفة حدورات أو كومبات Combes رطبة). وعلى كل حال، كثيراً ما يكون الصخر المحلي فيها محجوباً نظراً لوجود منتجات صخرية منقولة ولا سيما المهيلات وعلى الخصوص المورينات. إذن يجب الذهاب إلى بلاد جنوبية أكثر، كالبروفانس أو إلى افريقيا الشمالية، كي نجد مناطق شبه عارية من الأغطية الهشة وحيث يتكشّف الصخر في كل مكان تقريباً، مما ييسّر عمل التقريب الداخلي لدى الجيولوجي الكارتوغرافي الذي يستطيع حينئذ اقتفاء اثر الطبقات المعلمية بالمنظار وذلك على مساحات كبيرة.

وبعد إقامة السلم الستراتيغرافي، وبعد تثبيت الطبقات المعلمية repères ومتابعتها، يصبح على الجيولوجي أن يقوم حالاً برسم خارطته، وهو عمل دقيق يقوده إلى رسم «**تخوم أو كنتور contours**» مختلف الانكشافات الصخرية الملحوظة في منطقته. بيد أن شكل هذه الانكشافات يكون متبدلاً للغاية: فتكون متسعة وذات سيماء متحدة المركز في المناطق المائدية، في حين تصبح الانكشافات على شكل أشرطة متوازية، متفاوتة في عرضها، في المناطق الملتوية. ويكون مسار الانكشاف، في التفاصيل، مختلفاً حسب ميل الطبقات، وعلى الخصوص عند مرور الأودية، فإذا كانت الطبقات أفقية (أي متوازية مع خطوط التسوية)؛ فإن الانكشاف يكون ذاته موازياً لمنحنيات التسوية، أما في حالة الطبقات العمودية، فإن الانكشاف قد يقطع هذه المنحنيات حسب الصدفة، وعندما تغطس الطبقات على طول حدور talus في اتجاه معاكس للسطح الطبغرافي، فإن رسم الانكشاف يظل مماثلاً لرسم خطوط التسوية، وأخيراً عندما تكون الطبقات مائلة فيه في اتجاه معاكس لاتجاه السطح

تستطيع أن تثبت السيلينيوم والكبريت — وهما عنصران مختلطان بالأورانيوم وبالفاناديوم — وبالتالي يمكن استخدامهما لهذا السبب في التنقيب عن فلزات الأورانيوم.

الأرضي، فإن الانكشاف يرسم منحنى معاكس لمنحنى خطوط التسوية (شكل ٣١٩).

وما أن تم رسم الانكشاف، حتى يحين الوقت لاستخدام اللون ويجب العمل بشكل خاص لخلق تباين بين لونين متجاورين. هذا كما تجب الاشارة إلى ميل الطبقات، كذلك أثر الصدوع، والامتداد الافتراضي للطبقات (على شكل خط منقط)، والمكامن الحاوية على المستحاثات ... إلخ. ومن الممكن، في بعض الحالات، وذلك بالاستعانة بتحميل surcharge إضافي لتبدلات السحنة التي تحصل في الطبقة ذاتها.



شكل ٣١٩ ــ شكل الانكشافات. علاقاتها مع ميل الطبقات عند مرور الأودية. ١، طبقات غاطسة في اتجاه معاكس لسطح الأرض (في الأعلى مجسَّم وفي الأسفل خارطة). ٢، طبقات تغطس في الاتجاه ذاته للسطح الطبغرافي (في الأعلى مجسم وفي الأسفل خارطة). ٣، طبقات أفقية. ٤، طبقات عمودية (الخط المنقط يشير لمنحنيات التسوية، وتشير الخطوط المتصلة لانكشافات الطبقات).

وهكذا نجد في خارطة نيس، مثلاً، أنه جرت الاشارة إلى تبدلات سحنة

الثموليتي (صخر رملي «حث»، رمال)، مثلما تمت الإشارة، في خارطتي غرينوبل وآنسي، إلى تبدلات سحنة الكريتاسي الأسفل (سحنة أورغوني، وبارّيمي وآبتي).

وفي بعض الحالات، وهذا نادر في الواقع، يستطيع الجيولوجي أيضاً أن يستخدم معطيات الجيوفيزياء (الطرائق الغرافيمترية، والمغناطيسية، والكهربائية، التعيينة carottage الكهربائية) التي يمكنها أن تنبئنا عن وجود صدوع غير مرئية على السطح، أو عن وجود مواد معدنية عميقة، أو عن الاستمرارية، في الاتجاه، لبعض مقاطع عمليات السبر.

وينتج عن كل ما قلناه، قبل قليل، أن خارطة جيولوجية ما لا يمكن اعتبارها نهائية إلّا فيما ندر، بل تكون في أكثر الحالات، عبارة عن وثيقة غير كاملة وتتطلب الإكمال والتي تكون، وذلك حتى في الحالة التي كان اكتشاف صخور المنطقة كاملاً، قابلة دائماً للاستفادة من اكتشافات جديدة تمت بمناسبة أشغال طرق، أو خنادق، أو أنفاق، أو مقالع... إلخ.

III ــ الخرائط الجيولوجية الرئيسية

أ ــ خرائط التعليم: وهي خرائط جيولوجية ذات مقياس صغير، تسمح بتمثيل مجموعات، ويمكن تفسيرها بسهولة، وذلك بفضل استخدام سلّم الألوان الاتفاقية ذاته. وهكذا تكون الصخور الإندفاعية ذات ألوان صارخة، وعلى العموم حمراء، مثلما تتخذ صخور الحقب الأول (باليئوزوئيكي) ألواناً غامقة، سمراء أو خضراء، ويكون الترياس ذا لون بنفسجي، والجوراسي بالأزرق، والكريتاسي بالأخضر، وأخيراً يتصف الثلاثي باللون الأصفر والرباعي بالأبيض أو بيج فاتح. وهكذا نجد في كل لون أن اللون يكون فاتحاً أكثر كلما كان أحدث عهداً. ولنسرد أهم الخرائط المعروفة:

الخارطة الجيولوجية لأوروبا مقياس ١ / ١٥٠٠٠٠٠

الخارطة الجيولوجية العامة لفرنسا مقياس ١/مليون التي نشرتها مصلحة الخارطة الجيولوجية الفرنسية .

الخارطة الجيولوجية لفرنسا من مقياس ١/ ٥٠٠٠٠٠ من صنع L.Carez و G.Vasseur .

الخارطة الجيولوجية العامة من مقياس ١/ ٣٢٠٠٠٠ التي نشرتها مصلحة الخارطة الجيولوجية الفرنسية .

الخارطة الجيولوجية للسافوا والمناطق المجاورة من مقياس ١/ ٢٠٠٠٠٠ من وضع مؤلف هذا الكتاب L.Moret .

الخارطة الجيولوجية العامة لسويسرا بمقياس ١/ ٢٠٠٠٠٠ والتي أصدرتها اللجنة السويسرية الجيولوجية [1] .

ب ـ **الخرائط الجيولوجية المفصلة**: وهي خرائط ذات مقياس كبير، والتي نشرت من جانب المصالح الجيولوجية الرسمية لكل الأقطار تقريباً . وهي تستجيب لهدف عملي أكثر من الخرائط الآنفة الذكر . وتكون على العموم معدّة للمختصين . ولا تكون أنواع الصخور فيها منضمة إطلاقاً بل يقصد منها، على العكس، إمكانية تمييز أكبر قدر ممكن وذلك باستخدام ألوان متنوعة ومتضادة .

ويمثل نموذجها **الخارطة الجيولوجية المفصّلة ذات مقياس ١/ ٨٠٠٠٠** التي نشرتها إدارة الخارطة الجيولوجية في فرنسا والتي ظهر منها أكثر من ٢٠٠ خريطة منذ عام ١٨٦٨ ونذكر أيضاً **خارطة فرنسية أخرى مفصلة من مقياس ١/ ٥٠٠٠٠** والتي بدأ نشرها منذ عام ١٩١٣ .

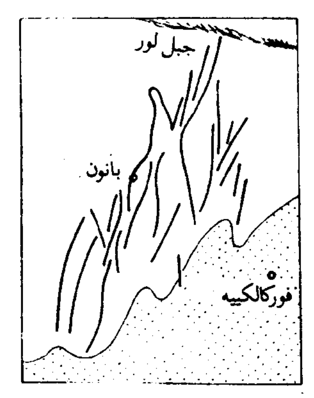
---

(١) تملك سورية خارطة جيولوجية عامة من مقياس صغير ١/مليون ولسورية بكاملها من مقياس ١/ ٢٠٠٠٠٠ ، أما الخرائط الجيولوجية من مقياس ١/ ٥٠٠٠٠ ، فلا تغطي أكثر من محافظتي اللاذقية وطرطوس بالإضافة إلى خارطة الزبداني وجبل الشيخ (الحرمون)، ويتغطى كل لبنان بخارطة من المقياس ذاته مثلما تملك المملكة الأردنية خرائط جيولوجية للمناطق الغربية منها فقط هذا وتتغطى كل جزيرة العرب بخريطة جيولوجية شاملة فضلاً عن خرائط من مقياس ١/ ٥٠٠٠٠٠ من صنع دائرة المساحة الأمريكية .

وهناك خارطة باريس وضواحيها من مقياس ١ / ٤٠٠٠٠ ونشرها ج . ف . دولفوس .

الخارطة الجيولوجية لمون بلان (القسم الفرنسي) من مقياس ١ / ٢٠٠٠٠ إصدار ب . كورباك و ن . أوليانوف (٨ خرائط ظهرت منذ عام ١٩٢٧) .

الخارطة الجيولوجية للألزاس واللورين مقياس ١ / ٢٥٠٠٠ .

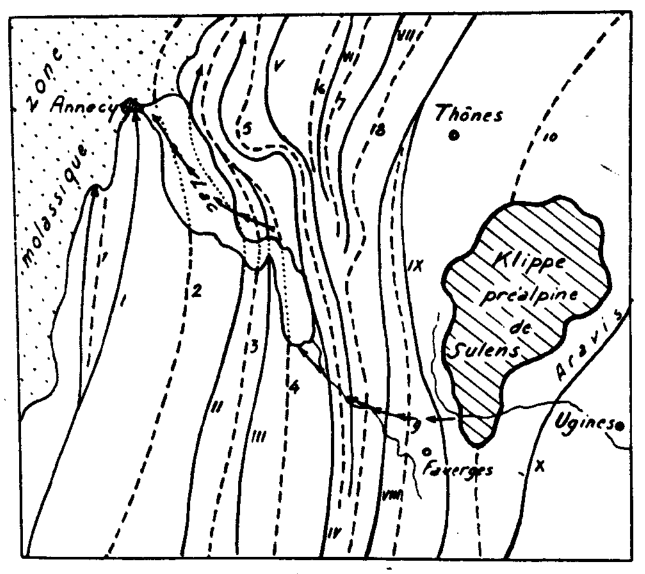


شكل ٣٢٠ ــ الخارطة البنيوية لمنطقة مصدّعة.
ميدان كسور بانّون (الألب السفلى) . اللون الأبيض يمثل الكريتاسي . والمنقط يمثل الحوض الثلاثي لمنطقة فوركالكييه ومانوسك .

جـ ــ الخرائط البنيوية : ويطلق عليها أيضاً خرائط تكتونية ، لأنها مهيأة لأن توضح البنية الإجمالية (مثال مخطط بنيوي تبسيطي لجبال الألب ، شكل ١٩٧ والجبال الكاربات ، شكل ٢٩٦) أو لبعض المعالم السطحية أو العميقة لمنطقة ما . وهكذا تتوفر خرائط لميدان الكسور (شكل ٣٢٠) ، وللمناطق الملتوية (تكون الطيات ممثلة حصراً بمحاورها) (شكل ٣٢١) ، ولسطح الطبقات (منحنيات تسوية لسقف فلزات حديد اللورين ، أو للسطح البنيوي للحوار في حوض باريس) ... إلخ .

د ــ وصف خارطة جيولوجية من مقياس ١ | ٨٠٠٠٠ : تقابل كل خارطة منها خارطة طبغرافية لأركان الجيش حُـمِّـلت فوقها التخوم الجيولوجية المحددة بخط وملونة . ونجد على طرف الخارطة مصطلحات جيولوجية عامة تعطي مدلول الألوان والرموز . وتكون هذه التوسيمات ومختلف التمثيلات معدَّة لتوضيح شروط التركيب ، والنسيج ، والشكل والعمر الخاص بكل من الكتل المعدنية الممثلة على الخارطة . وهكذا يعـرِّف كل مستطيل صغير ملوَّن إذن بطبيعة وببنية وبتأريخ الصخور التي يرمز إليها .

وعلى هذا الأساس تكون التوضعات الرسوبية هدفاً لترميز بحرف روماني مزود بـأسّ أو بقرينة، مثلما يشار للصخور الإندفاعية بحرف إغريقي، مزود، إذا اقتضى الأمر، بفتحة موضوعة فوق الحرف والتي تشير لبنية كل صخر.



شكل ٣٢١ ــ خارطة بنيوية لمنطقة ملتوية. حوض بحيرة آنسّي. لاحظ المزقة الغريبة جداً عن جبل سولنس Sulens في مقعر Thônes. محاور محدبية على شكل خطوط مستمرة، محاور مقعرية على شكل خطوط متقطعة، أما السهام المتعددة فتشير إلى المنخفضات العرضانية الناتجة عن انعطافات محورية (سروج ensellements)!

هذا ويشار إلى المواد المفيدة الموجودة في هذه الصخور المختلفة في قائمة مصطلحات تقنية واقعة في أسفل الخارطة: ففي الصورة (البسط) توجد إشارة تشير إلى المادة المفيدة، مثلما نجد في المخرج (المقام) رمز الصخر أو الصخور التي تحتوي على المادة المذكورة.

ويشار إلى مسارات التخوم الطبقية بخطوط متقطعة (وحالياً هناك اتجاه لاستخدام خط متصل) أو بخط منقط فيما إذا كانت هذه التخوم محجوبة بتكوينات سطحية. وهناك شروط بنيوية تكون ممثلة أيضاً، وكذلك ميول الطبقات، والطيات الهامة (مفصّلات)، ومسار الصدوع (خط قاتم) والمكامن الحاوية على المستحاثات، والصخور المجروشة (ميلونيت)... إلخ.

أما من جهة شروط التأريخ فتكون ممثلة بألوان (وتكون هنا متنوعة جداً والتي يرجِّح تضادها)، كما أن هناك توسيمات notations مختلفة والتي تعـرِّف بالعمـر النسبي لمختلف التكوينات. غير أن من المعروف أن الأراضي الرسوبية تكون متشعبة إلى طوابق والصخور الإندفاعية إلى مجموعات. ويرمز إلى كل طابق رسوبي بحرف روماني يحمل أُسّاً برقم عربي أو بقرينة بأرقام رومانية. ويظل الحرف هو ذاته بالنسبة لكل الطوابق التي يؤلف مجموعها الصخر، وهكذا يمثل حرف J الجوراسي، كما يرمز حرف T للترياس، و C للكريتاسي. وتتجه الأُسّـات (جمع أُسّ) والقرائن نحو التزايد انطلاقاً من ساف اتخذ كأصل (أو ساف معلمي حقيقي) بسبب استمرارية انكشافه الكبيرة ولصفاته الحاسمة والتي يمكن التعرف عليها بسهولة. ويستخدم الأُسّ من أجل الطوابق أو الطبقات العليـا. أمـا القرينـة فتكـون مستعملـة في العنـاصر السفلى. مثـال: C^3 (توروني)، C^2 (سينومـاني)، C^1 (آلبـي = ساف معلمـي)، C^{I-II} (آبتــي)، C^{III} (بارّيمي)، C^{IV} (هوتريفي)... إلخ. أما فيما يتعلـق بالطوابـق الفرعيـة، أو بالنسبـة للمركبات الحاوية على بضعة طوابق، فيمكن تمييزها بأُسّـات إضافية أو برموز مجتمعة (مثال، C^{II-III} تمثل على خارطة آنـسّـي، شامبيري، غرينوبل، السحنة الأورغونية التـي تجتاح البارّيمي والآبتي).

وتكون كل مجموعة إندفاعية متميزة بحرف إغريقي مزود بقرينة تعبر (عندما يكون الأمر ممكناً) عن التوسيم بحرف أو برقم الطابق الرسوبي المقابل المعاصر.

ويظل الحرف هو ذاته بالنسبة لكل الصخور من العائلة ذاتها والتي تكون على علاقة مع المركز الإندفاعي المحـدَّد. وأخيراً فإن كل خريطة تكون مصحوبة بمذكرة إيضاحية تعطي معلومات عن طبيعة وسماكة مختلف الطبقات الصخرية، وكذلك عن البنية الإجمالية للمنطقة الممـثَّـلة [1].

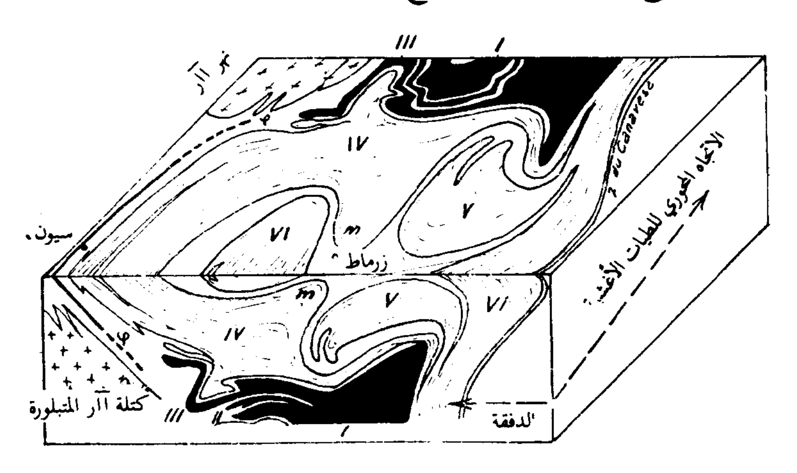
---

(١) وقد تنشر أحياناً إدارة خارطة فرنسا الجيولوجية مذكرات هامة يقصد بها شرح بعض الخرائط.

IV ـــ المقاطع الجيولوجية والمجسمات

من الممكن صنع المقاطع الجيولوجية، الجزيلة الفائدة لتمثيل طبيعة صخور المنطقة، بالاستعانة بخرائط جيولوجية[1] ولا تعطي الخرائط الجيولوجية، لأول وهلة، بالطبع أكثر من دلالات عن سطح الأرض؛ أي عن القشرة وليس عن الأجزاء العميقة. ومن هذا تصدر فائدة إلحاق مقاطع بالخرائط الجيولوجية، وهو ماتم فعله بالنسبة للخارطة الجيولوجية لمنطقة الألزاس واللورين ولبعض خرائط من مقياس ١ / ٨٠٠٠٠ الفرنسية.

وكثيراً ماتستخدم من أجل مقاطع على شكل زمر، متزحزحة عن بعضها بعضاً، لأنها تسمح بمتابعة تحولات الأوضاع التكتونية.



شكل ٣٢٢ ـــ **مثال لمجسم مطابق لخريطة**. منطقة جبال ألب بنين. III, II, I، طيات أغشية سمبلونية (آنيتغوريو، Lebedun، Monte Leone). IV، غشاء سان برنار الكبير. V، غشاء مونروز، VI، غشاء دانبلانش. وتقع بين النوى الغنايسية المحدبية (الانتيكلينالية) لهذه الطيات الأغشية، تقع مقعرات الشيست اللماع (باللون الأبيض). m، طية ميشابل العائدة. Q، تراكب بنّيني جبهي. قارن مع الشكل ٢٠٤ (عن إميل آرغان).

---

(١) لقد تم وصف التقنية المتبعة في صنع الخرائط الجيولوجية بإسهاب في مؤلفات مختصة ذكرناها وهي كتب A. Bonte و M. Dreyfus، و E. Raguin. ويظهر من الشكل ١٨١ ـــ ١ و ١٩٦ علاقات خارطة ومقطع جيولوجي.

وفي هذا المعنى، فإن أكثر الطرائق جاذبية، وإن كانت مع ذلك غير دارجة مثل المقاطع الجيولوجية، هو طريقة المجسّمات. وتطلق عبارة مجسم متوازي الأضلاع عندما يتمثل على شكل منظور والذي تكون واجهته العليا عبارة عن خارطة أو تضريس جيولوجي، في حين تكون مرسومة، على الواجهتين الجانبيتين، مقاطع جيولوجية (انظر شكل ٢١٨ مثلاً). وهكذا تكون البنية الجيولوجية لمنطقة ما مفهومة بسهولة لدى الجميع بالاستعانة بمجسم جيد (شكل ٣٢٢).

الفصل الثالث

الطريقة السينمائية والجيولوجيا

لقد نشأت التقنية السينمائية في المخبر على أيدي علماء الفسلجة المهتمين بتفكيك ظاهرات التحرك المفرطة السرعة بقصد تحليلها. ونظراً لبقاء هذه التقنية فوق أرضها العلمية الأصلية، رغم انحراف مبكر تجاري، فهي لم تصبح أداة تربية لا مثيل لها فحسب بل أصبحت أيضاً أداة عمل ثمينة وذات أصالة قادرة على الدفع نحو اكتشافات هامة.

وهكذا تمت تطبيقات عديدة في مجال علم البيولوجيا، وفي العلوم الفيزيائية ــ الكيميائية وحتى في الرياضيات. وعند تطبيق التقنية السينمائية في علم الجيولوجيا فإنها تستطيع أن تصبح طريقة للعرض وللبرهنة ولا سيما أداة فحص وتحقق رائعة وذلك بالسماح لعامل الوقت بالتدخل، والذي تكون أهميته هنا حاسمة.

ولنتذكر أنه، من أجل صنع فيلم علمي، يمكن استخدام بضع طرائق. ففي أكثرها تبسيطاً؛ أي في **الطريقة الوثائقية**، يتم بكل بساطة ونقاوة تسجيل ظاهرة نرغب في الاحتفاظ بها وملاحظتها على مهل. وعلى هذه الطريقة يتم الاعتماد عادة لدراسة الظاهرات الجيولوجية الحالية (ثورانات بركانية، فيضانات سيلية، حت... إلخ). وهناك طرائق أخرى أكثر تعقيداً تسمح باستعادة تطور ظاهرة مفرطة في بطئها

أو في سرعتها، وذلك لا تطالها ملاحظتنا. فبعضها تدعى **طرائق التحاليل** أو لقطات سريعة والهدف منها تمديد أو مط ظاهرة نوعاً ما؛ أي ظاهرة يعجز البصر عن رؤية تفاصيلها (مثلاً تفكيك الحركة، جري فرس، طيران عصفور، قفزة رياضي... إلخ) في حين تدعى الأخرى **طرائق** التراكيب، أو **اللقطات البطيئة**، ويقصد بها تكثيف ظاهرة مفرطة في بطئها، نحسبها جامدة، كتفتح زهرة، وتطور بيضة... إلخ.

تلك هي، طبعاً، الطريقة التركيبية التي يجب أن نستعملها في استعادة تصور الظاهرات الجيولوجية العظيمة التي غيرت وجه الأرض (التحولات الجغرافية القديمة، تكوين الجبال، الحت) خلال الديمومة المديدة للأزمنة الجيولوجية. ولكن بما أنه ليس هناك مجال للقيام بتسجيل مباشر لظاهرات غابرة والتي استمرت ملايين السنين فإن على الجيولوجي السينمائي أن يلجأ لحيلة **الرسوم المتحركة**.

إذن سيكون من المناسب تجهيز عدد كبير جداً من الرسوم المنجزة أو شواخص أساسية (خرائط، مقاطع أو مجسمات حسب الحالة) بحيث يمكن ربطها jalons ببعضها بعضاً وتطابق، وذلك خلال المراحل الأساسية من التطور، في الزمان، الظاهرة المدروسة. وفي خلال هذا العمل، المستند على وقائع جيولوجية موثوقة، لا يجوز ترك شيء لمحض الصدفة، كما يجب أن تكون ديمومة الحوادث الممثلة دائماً متناسبة مع الديمومات المطلقة التي وفّرتها الأبحاث الحديثة التي قام بها الجيوفيزيائيون (انظر ص ٣٣).

ويمكن التوصل لذلك، على وجه الضبط، بأن ندرج بين الشواخص الأساسية، عدداً كبيراً نوعاً ما من الشواخص الوسيطة مخصصة من ناحية أخرى لتحقيق استمرارية الفيلم.

هذا وفضلاً عن الفائدة التربوية من تمثيلات كهذه، فإنه سيكون لدينا بذلك وسيلة لأن نثبت بالفيلم صوابية رسومنا المسبقة المنعزلة، إذ لا يمكن التوصل لذلك إلا إذا كانت استمرارية الظاهرة المدروسة ممكنة التحقيق بهذه الطريقة.

أ ـــ تمثيل الظاهرات الجغرافية القديمة سينمائياً

لقد رأينا خلال هذه المؤلَّـف، أن التراكيب الجيولوجية قد تقود، وذلك بالنسبة لكل دور من تاريخ الأرض، لصنع خرائط جغرافية قديمة تمثل توزع المحيطات والقارات. وذلك بصورة مقاربة طبعاً. ولقد رسمنا نحن أيضاً عدداً من الخرائط الجغرافية القديمة للأرض أو لفرنسا والتي تنتسب إلى عصور جيولوجية متعاقبة. ومنذ ذلك الوقت، يصبح من الممكن، وذلك بشرط أن تكون استعادة التمثيلات صحيحة، الربط فيما بينها بواسطة فيلم هذه المخططات المختلفة.

وقد جرت محاولة من هذا النوع فيما مضى على يد ب. لوموان و ف. Vlès بالنسبة لمحيطات الحقب الأول، وسمحت بإعادة تمثيل وبإنعاش الطغيانات والانحسارات الكبرى في ذلك العصر، والذي يقدر طوله ببضع مئات من ملايين السنين.

غير أنه لم يكتب لهذه المحاولة المفيدة جداً الاستمرار، مع أنها لا تزال بدائية تماماً، مع الأسف.

ب ـــ التمثيل السينمائي للظاهرات التكتونية

لقد كان من بواعث الإغراء تطبيق الطريقة السينمائية على تكوين السلاسل الكبرى الجبلية، وذلك بالربط بين حركة البحار مع مراحل الالتواء المتعاقبة والتي تدين بوجودها إليها. وقد كان هذا الأمر موضع محاولة بالنسبة لجبال الألب الفرنسية في ١٩٣٧[١].

ولقد رأينا، بالواقع، أن الدراسة الدقيقة لسلسلة جبال، حتى ولو كانت على قدر من التعقيد. تماثل السلسلة الألبية، تسمح، وذلك عندما تكون مثل هذه الدراسة

(١) ب. موريه. **فيلم سينمائي ملون عن التشكل الجيولوجي لجبال الألب الفرنسية** (العلوم الطبيعية رقم ١ و رقم٢) ويمتلك هذا الفيلم حالياً قصر الاكتشاف وشكل ٢١٨ (ص ٥٧٢) يمثل بكل دقة المراحل الرئيسية.

متقدمة بما فيه الكفاية، بأن نصنع منها ما سميناه بالتكتونيك الجنيني، أو بعبارة أخرى بأن نقيم وضعاً للسلسلة بالنسبة لكل عصر وبتثبيت هذا الوضع أو الحالة بواسطة مقطع جيولوجي أو بمجسم. وسيسمح الفيلم لنا، وهنا أيضاً، بربط هذه الأوضاع المتعاقبة ببعضها بعضاً.

وقد كان المثال المختار منطقة جبال الألب الفرنسية الواقعة على درجة عرض كتلة بلفو Pelvoux، في وادي نهر دورنس الأعلى، وهي المنطقة الأفضل معرفة حالياً في السلسلة. وتعبر كل تفاصيل المقاطع إذن عن الملاحظات الدقيقة ولم يترك فيها شيئاً للخيال. فقد تم رسم أكثر من خمسين شاخصاً أساسياً، متشكلة مبدئياً بواسطة مقاطع جيولوجية حسب المقياس ومرسومة بشكل متعامد مع الاتجاه العام في السلسلة والتي تعبر فيها عن البنية في فترة محددة بدقة من تاريخها.

ويدور تاريخ جبال الألب الفرنسية إذن على طول فيلم على شكل مقطع جيولوجي يفترض أنه مرسوم في منطقة مختارة بشكل موفق، بدءاً من فجر الأزمنة، والذي يتحول تدريجياً تحت تأثير أربعة عوامل كبرى من حركة مولِّـدة للجبال orogénèse، ترسب، التواء، استحالة، حت. ولشرح وضع المقاطع بشكل صحيح فإن خمسة مقاطع منها، والمقابلة لبرهات حاسمة في حركة تكوين الجبال الألبية، تكون معروضة على الواجهة الجنوبية من المجسمات ذات ثلاثة أبعاد معـدّة لإظهار علاقات السطح مع البنية التحتية (أو الأساسات العميقة حسب علماء التكتونيك) (شكل ٢١٨).

ويتم حساب الأزمنة ابتداءً من الكاربونيفير، وهو عصر يبدأ به تاريخ السلسلة الألبية، انطلاقاً منه، في الخروج من الظل، وهناك حاسب يشير بملايين السنين، في أعلا وفي يمين كل صورة، إلى الزمن المنقضي. وهكذا تتدرج من الصفر حتى ٣٠٠ مليون من السنين تقريباً (العصر الحالي).

وهكذا نشهد التقلبات الطارئة على الحفرة المقعرية (الجيوسنكلينالية) التي ستتهيأ فيها رسوبات السلسلة المقبلة، ولنشوء أوائل الالتواءات التي ستتجلى على شكل

محدبات عملاقة أو حزم سلاسل جبلية cordillères والتي ستتمخض عن حفر ثانوية، وإلى انتفاضات أو اختلاجات حزم السلاسل هذه وأخيراً إلى المرحلة الختامية الكبرى في نشوء الجبال مع ظاهرات أغشية الجرف الجسيمة التي ستطرد البحر نهائياً لما وراء المجال الألبي الصرف.

وهكذا أمكنت البرهنة بالفيلم عن مفهوم كثيراً ما ورد ذكره في هذا المؤلف، علماً بأن تكوين الجبال، هو أبعد من أن يكون ظاهرة بسيطة وسريعة، بل هو ظاهرة معقدة، متعددة وطويلة الأمد. فلقد تفردت السلسلة الألبية ببطء خلال الدهور ويستطيع فيلمنا أن يصف لنا ولادتها، وعلم الجنين الخاص بها، والتطور بل وحتى بداية الضعف، وفي ذلك مصداق لما كتبه الجيولوجي ترمييه Pierre Termier أن «نطاق السطح الأرضي التي تتجهز فيه سلسلة جبال هو نوع من كائن حي لا يكف عن الهيجان، وعن التحرك وعن التحول»[1].

وربما كان من الممكن استباق المستقبل بتمثيل مرحلة شبه السهل الكلي بفعل الحت، وفي ذلك تكون نهاية تطور كل السلاسل Pénéplanation الكبرى التي سبق لها أن انتصبت فوق سطح الأرض.

وهكذا جاءت التقنية السينمائية لكي تنفث الحياة في علم كان يمكن أن نعتقد لأول وهلة أنه مهتم حصراً في الأمور الماضية والميتة والمستحاثة. ومن المؤكد أن إدخال الزمن، ذلك البعد الرابع، في طرائقنا لرسم تمثيل ظاهرات جيولوجية، يصبح وسيلة

(١) هناك نسخة جديدة، محسّنة جداً، عن هذا الفيلم (رسم متحرك ملون، ناطق) تم نشرها في عام ١٩٦١، عن طريق مصلحة الفيلم للبحث العلمي. وقد اغتنت من أحدث الأبحاث في الجيولوجيا الألبية: وهكذا يكون الفليش ذو أشباه الدوديات Helminthoïdes (والذي يعتبر عمره من الكريتاسي ــ الايوسيني أمراً مقبولاً الآن) يكون معتبراً وكأنه من أصل بينّي Pennique. وهذا الغلاف المتحول قليلاً أو غير المتحول المؤلف من صخور الشيست اللماعة، المنزلقة حين الالتواءات الألبية، هو الذي يعتقد أنه أعطى غشاء الانزلاق الذي يشكل الجزء الأعلى من الكيان المجروف لمنطقة Embrunais-Ubaye (انظر L. Moret. التقنية السينمائية في خدمة علوم الأرض: فيلم جيولوجي عن تكوين جبال الألب الفرنسية. **تقرير أكاديمية العلوم**. مجلد ٢٥٣ ص٢٣٠٠، ٢٠ تشرين الثاني ١٩٦١).

قديرة للبحث والعرض، والذي لا ريب في أن الذي سيخلفوننا سيجعلون من ذلك استعمالاً دارجاً.

ومهما كان عليه الأمر فإن الظاهر هنا أن صخور أرضنا، والتي نحسبها صلدة ومستقرة في الظاهر، تكون في بعض الحالات، قادرة على أن تجري كالقطران. ذاك أن مقياس الظاهرات الجيولوجية الكبرى الواردة في الفيلم تتجاوز مقياس التاريخ البشري وذلك أولاً لجسامة القوى الداخلة في الميدان، والقادرة على برم أشد الصخور قساوة وعلى نقل كتل جبلية برمتها، ولكن كذلك باتساع الأزمنة الجيولوجية، التي يجدر بنا ألّا ننسى بأن مفهوم مليون سنة أصبح وحدة قياسية.

وهكذا تبدو لنا الجيولوجيا، شأن علم الفلك والفيزياء تماماً، وهما علمان كشف لنا عن تعقيدهما المروع، عن اللامتناهي في الكبر واللامتناهي في الصغر، أقول تبدو الجيولوجيا، وهي توسع مفهومنا عن الكون، بتدريبنا على الإفلات خارج حدود التأريخ الإنساني المحدّدة وخارج الإطار الطاقي الحقير والذي تبدو قوانا الضعيفة عاجزة عن تجاوزه.

دليل ألفبائي بالعبارات التقنية، وأسماء الفلزات، والصخور، والمستحاثات والطوابق

A

Almandin ١١٤ بهرمان
Alpes ٥٣٦ جبال الألب
Alpin ٥٣٦ ، ٥٢٧ ، ٥٢٦ آلبي
Altération ٩٤ فساد
Ambre ٣٧٥ عنبر
Ammonites ٤٥٠ ، ٤٤٧ ، ٤٠٠ عمونيات . آمونيات
Ammonites ٤٤١ أشباه الأمونيات . آمونوانيات
Amorphe عديم الشكل . لا بلّوري
Amphibiens ٤٠٢ برمائيات
Amphithéatre morainique ٢٣٨ حَلَبَة مورينية
Amophineures ٣٩٦ رخويات حبلية
Analogie ٦١١ مضاهاة
Anatexie ٣٥٥ الانصهار الجزئي
Angiospermes ٤١٧ مغلفات البذور . كاسيات البذور
Anhydrite ٣١٣ ، ١٢٨ آنهيدريت . بلاماء الجبس
Accordance de stratification توازى بالتطبق
Acalphes قراصيات
Acéphales ٣٩٦ عديمة الرأس
Adsorption امتزاز . ادمصاص
Affleurement انكشاف
African thrope ٤٥٨ ، ٤٥٦ الإنسان الإفريقي
Agate ٢٩٥ عقيق
Âge ٣٨ عمر
Agnotozoïque ٦٣٠ الحياة المندثرة أو المجهولة
Aire continentale ٤٨١ الرقعة أو السطح القاري
Albien ٧٣٠ ألبي
Alcyonaire ٣٨٦ ألسيوناريا . مجوفات . لا حشويات
Algonkie ٣.٩ ، ٤٣١ ألغونكي
Algues ٤١٠ طحالب
Alios ٢٧١ آليوس
Allotriomorphes ٨١ غريبة الشكل
Alluvions ٢٦٤ لحقيات . طمي

Anisotrope	٦٧ متباين الخواص
Anisotropie	٦٧ تباين الخواص
Anomalies	٢٨ شذوذات
Antenne	قرن الاستشعار
Anthropozoîque	٣٩ الرابعي . الرباعي
Anticlinal	٥٠١ ، ٥٠٢ محدب . سنام
Anticlinorium	٥٠٣ ، ٥٠٧ محدب مركب
Apohyse	١٥٤ نتوء
Arachnides	٣٩٥ عنكبيات
Arachae	٢٨٤ مفصليات الأرجل القديمة .قشريات
Ocrustacés	قديمة
Archéen	٣٩ ، ٤٣٠ آركي
Arêne	١٧٣ بطحاء . رمل غرانيتي
Argile	١٢٩ ، ٣٧٣ غضار . صلصال
Argile bauxitique	٢٨٦ غضار بوكسيتي
Argile plastique	٧٦٥ غضار لدن
Argile à silex	٢٨٦ ، ٧٤٨ غضار صواني
Argile smectique	٢٧٥ غضار صابوني
Arsénopyrite	١٢٢ بيريت زرنيخي
Artérites	١٧٠ ميغماتيت
Arthropodes	٣٩٣ مفصليات الأرجل أو القدم
Asphalte	٣٢٨ ، ٣٣٠ زفت
Assise	طبقة ، ساف
Astèrides	٣٨٩ نجميات
Asymétrie	عدم تناظر
Authigènes (minéraux)	٨٣ محلية المنشأ
Arant-fosse	٤٨٣ ، ٥٨٢ مقدمة الحفرة
Avens	٣٠٨ هوتة . خفس . دحل

B

Bactéries	٤١٠ بكتريات . جراثيم
Banc	طبيقة . ساف
Basalte demi-deuil	بازلت شبه قاتم
Bassin de subsidence	٤٨١ حوض انكباس
Batholite	١٤١ باطوليت
Batraciens	٤٠٢ ضفدعيات
Bauxite	٢٨٦ ، ٢٨٧ ، ٧٥٢ بوكسيت
Bedrock	٢٦٠ الصخر المحلي . صخر الأساس
Bélemnites	٣٩٩ ، ٤٠٠ ، ٤٤٧ ، ٤٥٠ بلمنيتات
Béryl	١١٠ زمرد
Biré fringence	٦٧ ، ٧٥ ، ٧٦ ثنائي الانكسار
Bitumineux	٣٢٨ حمّري . بيتوميني
Blastoïdés	٣٩٠ برعمانيات
Blocs exotiques	٥٣٥ جلاميد غريبة
Bombe basaltique	١٩٨ قنبلة بازلتية
Bons fossiles	٤٢٨ مستحاثات مميزة
Bouclier baltique	٥٧٢ ، ٦٣٢ الترس البلطي
Boues coralliennes	٢٤٨ الوحل أو الطين المرجاني
Boues volcaniques	٢٤٨ وحل أو طين بركاني
Brachiopodes	٣٩٠ ، ٣٩٢ ، ٤٣٢ عضديات القدم أو الأرجل
Brchyanticlinal	٥٠٨ محدب قصير
Brachysynclinal	٥٠٨ مقعر قصير
Brèches	٢٦٦ بريش . بريشيا
Bryophytes	٤١١ حزازيات نباتية
Bryozoaires	٣٩٢ برويات . حزازيات حيوانية

C

Caillasses	حجر غشيم . دكش
Calamariées	٤٣٧ ذنب الخيل
Calcaires	٢٩٨ صخر كلسي
Calcaires coralliens	٣٠٢ كلس مرجاني
Calcaires lithographiques	٢٩٨ الكلس الطباعي ، حجر الطباعة
Calcaires marneux	كلس مارني
Calcaires oolithiques	٣٠٤ ، ٣٠٠ كلس بيوضي
Calcaires perlitiques	٣٠١ كلس لؤلؤي
Calcédoine	٢٩٥ ، ١٣٠ ، ٨٧ خلقيدوني
Calcification	تكلّس
Calpionelles	٣٨٤ ، ٢٩٨ فقاعيات
Cambrien	٤٣١ ، ٣٩ كامبري
Carcharodon	٢٥٠ أسنان سمك القرش
Cargneules	٣١٣ دولوميا كهفية
Cataclastique (texture)	١٥٣ تهشيمية (بنية)
Catazone	١١٥ النطاق السفلي
Céphalopodes	٤٣٥ ، ٣٩٩ رأسيات الأرجل
Champs de fracture	٥٥٩ ميدان كسور
Chara	٤١٢ كارا . شارا
Charbon	٣١٨ فحم
Charophytes	٤١١ كاريّات . روفية
Chaux grasse	٢٩٧ كلس دهني ، دسم
Chaux	٢٩٥ كلس . جير . شيد
Chevauchement	٥٣٧ ، ٥٠٣ تراكب . دثر
Chotts	٣١١ ، ١٢٨ شطوط
Chronologie géologique	٣٨ تأريخ جيولوجي
Cinabre	١٢٠ زنجفر
Cinérites	٢٧١ رماد بركاني
Cipolin	٣٤٨ مرمر
Cirrhipèdes	خيطيات الأرجل
Classe	صف
Classi fication	١٥٩ تصنيف
Clivages	٥٦٤ ، ٩٢ ، ٦٤ تشعيرات . فصمات ، انفصامات
Coelentérés	٣٨٧ جوفات البطن . جوفمعويات . مائيات الجوف
Coins	٥٢٧ أسافين
Collapse structure	٥٠٧ ، ٥٠٦ بنية انهيارية
Colloïdale	غرواني
Compétentes (roches)	٥١٢ صخور عصيّة
Compréhensives (couches)	٣٦٣ طبقات متماثلة السحنة ومختلفة العمر
Concordance	٤٦٦ توافق
Cône de transition	٨١٧ مخروط انتقالي
Cones incones (structure)	٤٦٤ ، ٤٦٣ مخاريط متداخلة
Cônes de déjection	٢٦٤ ، ٢٣١ ، ٢٣٠ مخاريط انصباب
Conglomérats	٢٦٦ رصيص . صخور تجمعية
Contraction (hypothèse de la)	٦٠٠ فرضية التقلّص
Coprolites	٣٧٥ ، ١٣٤ براز مستحاث
Coquins	٧٣٦ ، ٢٧٢ كوكينات
Coralliaires	٣٨٦ مرجانيات
Corallien	٤٧٧ مرجاني
Cordaïte	٤١٦ ، ٤١٤ كوردائيت
Corindon	١٠٨ ياقوت
Cornéenne	٣٤٨ قرنية
Corrasion	٢٤٠ تخريش
Coulées	١٥٥ مسكوبات
Craie	٧٤٨ ، ٢٩٨ ، ٢٥٠ حوّار
Craie marneuse	٧٤٨ حوّار مارني
Créationnisme	مبدأ الخلقية . الخلق

Crête شـعـف
Crinoïdes ٤٤٠ ، ٣٣٨ زنبقانيات . أشباه الزنبق
Cristallisoir مبْلار
Cristallographie ٥٨ تبلور
Crustacés ٣٩٤ ، ٣٩٣ قشـريـات
Cryptogames ٤١٠ خفيات الالقاح
Cycles sédimentaires ٤٨٦ دورات رسوبية
Cyclostomes ٤٠١ ، ٣٩١ حلقيات الأفواه
Cystidés ٣٩٠ مثانيات الشكل

D

Débit solide الصبيب الصلب
Décalcification ٣١٠ تأكلس
Décoiffements ٥٠٧ انقباع . الحسور
Décollements ٥١٧ ، ٥١٦ انفصال . انفكاك
Décrochement ٥١٥ ، ٥٠٥ انفصال أفقي . انزياح
Déflation ٢٤٠ تذرية
Dendrites ١٣١ ، ١٢٢ دندريت . تغصّن
Dépôts ٢٥٢ توضعات
Dénudation تـعـرية
Dérive des continents ٦٠٣ انسياح القارات
Deshydratation اجتفاف
Desquamation ٢٣٩ تقفع انتشر
Détritiques (sédiments) ٢٥٣ رسوبات حطامية
Dévitrification ١٧٧ نـزع الزجاجية
Diaclases ٥٦٥ ، ٥٦٣ فصمات . تشعيرات
Diagenèse ٢٥٣ تصـخُّر
Diamant ألـمـاس
Diapirs (plis) ٣٢٩ ، ٣١٧ ، ٥١٨ طيـة ثاقبة
Diatomées ٢١٤ ، ٢٥٠ مشطورات
Dicotylédones ٤١٧ ثنائيات الفلقة . ذوات الفلقتين
Différenciation des magmas ١٤٤ تمايز الصهيرات
Dinosauriens ٤٤٧ ديناصوريات
Diorite orbiculaire ١٨٥ ديوريت حلقي
Discordance ٤٦٦ عدم توافق . تنافر
Dissymétrie عدم تناظر
Dolines ٣٠٨ ، ٢٤١ جوبة
Dune ٢٤٠ كثيب ، طعس ، نقا
Dyke ١٥٥ قاطع ، جَـدّة
Dysharmoniques (plissements) ٥١٧ ، ٥١٥ التواءات غير منسجمة

E

Éboulis ٢٦٣ ، ٢٢٩ ، ٢٢٨ مهيلات
Écailles ٥٠٧ ، ٥٠٤ حراشـف
Échinides ٣٨٨ قنفذيـات
Échinodermes ٣٨٩ ، ٣٨٨ شوكيات الجلد
Écoulement ٦١٧ ، ٦١٥ ، ٥٦٧ جريـان
Effondrement ٥٦٠ انـهـدام
Égrènement ٣١٠ تفتت ، انفراط
Ejectif (style) ٥٠٧ نمط طيات مقروصة
Éluvions ١٧٤ موضعيات
Embranchement شعبـة

Émeraude ١٠٩ زمرد
Émeri ١٠٩ سنباذج
Encapuchonnement ٥٣٤ تقلنس . غطاء
Enclaves ١٥٦ ، ١٥٥ محصورات ، جيوب
Encrinus ٤٤٠ ، ٣٨٩ سوسن بحري
Ennoyage ٥٠٨ تغريق
Entroques قرصانيات
Épigénie ٢٣٦ ، ٢٣٥ ، ٢٣٢ فرض ، تغليف ، انفراض
Epirogéniques (mouvements) ٥٩٥ حركات مولدة للقارات
Épitaxie ٦٥ تبلور فوقي
Épizone ١١٥ نطاق فوقي
Époque عصر
Équidées ٤٢١ ، ٤٢٠ خيليات
Équisétales ٤١٥ ذنبيات ، كنبائيات
Ères ٤٨٩ أحقاب
Ergeron ٢٦٦ لهم
Érosion ٢٢٦ حت . تأكل
Espèce نوع
Étoiles de mer نجوم البحر
Eustatique (mouvements) ٥٩٦ ، ٤٨٧ حركات مستوى البحار التوازنية
Éraporites ٣١١ تبخريات
Éventail (Plien) ٥٠٢ طية مروحية
Évolutionnisme ٣٧٢ التطورية ، التطورانية
Exurgence نبع فوكلوزي

F

Faciès ٤٧٥ سحنة
Faille ٥٥٦ ، ٥٥٤ صدع ، فالق
Faille inverse ٥٥٥ صدع معاكس
Faille listrique ٥٣٣ صدع سطحي أوليستري
Faille-pli ٥٦٢ طية صدعية (فالقية)
Faille-thermale ٥٥٨ صدع المياه الحارة
Faisceau de failles ٥٦١ ، ٥٥٩ حزمة صدوع
Famille عائلة . فصيلة
Farines fossiles ٢٩٠ طحين مستحاثي
Fauchage des couches ٢٢٨ ، ٢٢٧ جز المنجل ، جز الطبقات
Fausses brèches ٣٧٩ بريش زائف
Feldspathoïdes ٩٥ صفاحانيات . صفاح حديث
Feldspaths ٨٨ صفاح . فلدسبات
Fer de lance (gypse) ١٢٨ نصل الرمح
Feuilletage ٤٦٢ ، ٣٥٥ ، ٣٢٦ تورّق
Filons ٢١٦ ، ٢١٣ عروق
Filons clostiques ٥٥٨ ، ٢٢٣ عروق رضيخية
Filons de calcite ٢٢١ عروق الكالسيت
Filons de quartz ٢٢١ عروق المرو
Filons de méyallifères ٢١٧ ، ٢١٨ عروق حاوية على المعادن
Fixisme ٣٧١ ثبوتية
Flexure ٥٥٦ ، ٥٥٥ انثناء . كيّ . ثنية
Flow cleavage ٥٦٧ انفصام دفقي . انفصام الجريان
Fluidale (texture) ١٥٣ بنية سائلة
Foraminifères ٤٤٨ ، ٣٨٣ منخربات
Fossiles ٤٢٨ مستحاثات . أحافير
Fossiles de faciès مستحاثات السحنة
Friction ٥٥٧ دعك
Fusulines ٣٨٤ ، ٣٠٣ مغزليات

G

Galène ١٢٠ غالينا
Galets écrasés ٥٦٩ ، ٥٦٨ حصباء مهروسة
Ganoïdes اللامعات
٣٩٨ ٣٩٧ بطينـــــــات أو معديـــــــات
Gastéropodes الأرجل
Géanticlinal ٤٨٢ محدب عملاق مركب
Gélives (roches) ٢٢٩ متجمندة (صخور) قابلة للتأثر بالانجماد
Genre جنس
Géosynclinal ٣٥٧ مقعر أرضي أو جيولوجي
Geyser ١٣٩ نافوة حارة
Gigantostracés ٣٩٥ نقابيات . عقربيات جبارة
Gisement ٢٢٨ مكمن . تكمّن
Glaciers ٢٣٤ جموديات
Glissement انزلاق
Globigérines (vases à) ٢٤٩ وحول ذات منخربات
Gneiss glanduleux ٥ ٣ غنايس غـدّي
Gneiss oeillés ٣٤٧ ، ٣٤٥ غنايس عيني
Graben ٥٥٩ غور . أخفوضة
Granite ١٦٥ ، ١٦٤ غرانيت
Granitoïdes (texture) ١٥٠ نسيج شبيه بالغرانيت
Granoblastique (texture) ٣٤٣ حبيبية برعمية
Graptolithes ٤٣٣ ، ٣٨٧ ، ٣٥٤ خطّيات . غرابتوليت
Grauwackes ٦٦٢ غرواك (حث ناري رضيخي)
Grenat ١١٣ بـجّادي . غرينا
Grenue (texture) ١٥٠ حبيْبي (نسيج)
Grès حجر رملي . حُـث
Grès bigarré ٦٩٥ ، ٤٤٢ ، ٢٦٩ حث مبرقش
Grossulaire ١١٤ ماذ بني
Gymnosperme عريانات البذور
Gypse ١٢٨ ، ١٢٥ جبس
Gypses (Zones des) نطاقات الجبسيات

H

Hamada ٧٥٦ الحمادة ، الحماد
Helix ٣٩٨ حلزون
Helminthoïdes ٣٧٨ دودانيات
Hépatiques ٤١١ كبديات
Hétéromorphes ٢٠٧ ، ١٦٢ مختلفة الشكل
Hexacoralliaires ٤٤٣ ، ٣٨٦ مرجانيات سداسية
Holocristallines (roches) ١٤٧ ، ٨١ صخور كلية التبلور
Holothurides خياريات البحر
Holothuries خيار البحر
Hominiens فصيلة البشر
Houille فحم حجري
Hydratation إماهة
Hydrolyse ٢٤١ حلمأة
Hydrozoaires هيدريات (معويات الجوف)
Hygrométrie المرطابية
Hygrométrique مرطابي
Hypocristallines (roches) ١٤٧ جزئية التبلور (صخور)

I

Ichthyosaurus ٤٠٣ إيكتيوصور
Idiomorphes (cristaux) ٨٢ بلورات كاملة الشكل
Imbriqué (régime) ٥٠٦ متراكب (نظام)
Imperméabilité ٢٨٢ كتامة
Imprégnation diffuse ٢١٥ ، ٢١٣ تشرب منبث
Incompétentes (roches) ٥١٥ ، ٥١٢ طيّعة (صخور)
Inclusions ٢١٣ ، ٢١٢ دخيلات . مكتنفات . محتبسات
Indice de réfraction ٦٧ قرينة الانكسار
Infusoires ٣٨٣ نقاعيات
Intrasédimentaire بيني رسوبي
Inversion du relief ٥٢٦ انقلاب التقريس
Isomorphisme ٦٢ تشاكل
Isostasie ٢٦ توازن القارات
Isotrope ٦٧ متساوي الخواص

J

Jade ١٠٥ جاد . يشم
Jaspe ٢٩٥ يشب
Jaspéroide ٢٩٥ شبه اليشب
Joints de stratification ٤٦٣ فصلات التطبق
Jurassien (style) ٥٢٦ ، ٥٢٤ جوراوي . جورانٌي
Jurassique ٧٠٣ جوراسي

K

Kaolin ٢٨٥ ، ٩٤ كاءولان
Kaolinisation ٢٨٥ ، ٩٤ كَوْلنة
Karst ٣٠٨ كارست
Kazanien ٦٧٢ قازاني
Klippes ٥٣٥ بقايا جرف

L

Lac ٢٤٥ بحيرة
Lacune ٤٦٦ ثغرة
Lagune ٣١٢ ، ٢٥١ بحيرة ساحلية . لاغون
Lambeau de recouvrement ٥٣٦ ، ٥٢٩ بقية تغطية
Lamellibranches ٤٤٤ ، ٣٩٦ صفائحيات الخياشيم أو الغلاصم
Lames de charriages ٥٣٣ شفرات الجرف
Lapillis ١٥٧ ، ١٥٤ لوَيْبات . حصى بركاني
Latérites ٢٨٧ لاتيريت
Laves cordées ١٩٨ لابات حبلية

Levantin ٧٩٦ ، ٧٩٥ شرقي . مشرقي
Lichebns ٤١١ حزازيات
Limon de débordement ٢٦٥ غرين الطفحان
Listrique (Faille ou surface) ٥٣٣ سطح انقطاعي أو صدع انقطاعي
Lithophages ٢٤٣ آكلات الصخر
Lumachell ٣٠٣ محاريّات . صخر كلسي صدفي

M

Macle ١١٢ توأمة
Macle de karlsbad ٦٥ توأم كارلسباد
Macles ٩٢ ، ٦٧ ، ٦٥ توأمات
Magmas ١٤٦ ، ١٣٦ مهل . صهير
Mammifères ٤٠٨ ، ٤٠٦ ، ٤٠٥ لبونات . ثدييات
Mangrove شـوْرة
Marbre bâtard ٧٣٨ مرمر هجين
Marcassite ١١٨ ، ١١٧ مرقشيتا
Marmites de géants ٢٣٠ ، ٢٣٣ قدور الجبابرة
Marnes ٢٩٧ ، ٢٧٣ مارنيات
Mars ٤٥ المريخ
Méditerranéen ٧٩٣ رومي . متوسطي
Méduses ٣٧٥ مدوسات . ميدوزات
Mérostomes ٣٩٤ ، ٣٩٥ نقابيات
Mésozone ١١٥ النطاق الوسيط
Métamorphisme ٣٥٢ ، ٣٥١ الاستحالة
Métasomatoses استعاضي
Métazoaires خلويّات
Météorites ٢١١ ، ٢١٠ ، ٢٠٩ نيازك
Migmas ١٧١ خليط
Minerais ٣٤٠ ، ٣٣٩ فلزات . ركازات . خامات
Mollusques ٢٩٦ رخويات
Moule ٣٧٥ قالب
Mousses ٤١١ حزازيات
Multituberculées ٤٤٨ العديدة الدرنات
Mutations ٤٢٠ طفرات
Myriapodes ٣٩٥ عديدات الأرجل

N

Naïdites سبحيّـات
Nappes de charriages ٥٣٤ ، ٥٣٣ ، ٥٢٨ أغشية جرف
Nautile قوقعة . حلزون بحري
Nautiloïdés حلزونيات
Nébuleusec ٢٠ سديمات
Necks ١٥٥ سـدّادة . عقب
Nérinés ٣٩٨ نيرينات
Nicol ٧٣ نيكول
Nuées ardentes ١٥٨ سحب متوهجة
Nummulites ٤٥٢ ، ٣٨٤ فلسيات . نموليت
Nummulitique ٧٥٩ نموليتي

O

Oolithe ٧١٤ سرئي . بيوضي
Opale ١٣١ ، ١٣٠ أوبال (عين الهر)
Ordre رتبة
Orgues basaltiques ١٩٩ أراغن بازلتية
Oursins ٤٤٩ توتياء البحر . آخينوس . قنفذيات

P

Paléontologie ٣٦٩ ، ٣٦٧ علم المستحاثات
Paraclase ٥٦٤ صدع (فالق)
Pectinidés ٤٥٣ بكتينات
Pegmatitique (texture) ١٥١ صباغي
Pendage ٥٠٢ الميل الطبقي
Pénéplaine ٤٦٧ شبه سهل
Pénéplanation ٦٣٣ ، ٦٢٤ شبسلية . شبسلة
Perclinal ٥٠٨ حَوْدبي
Pente ميل طبغرافي
Période دور
Péripates ٣٩٥ مشّائيات
Phénocristaux ٨٢ بلورات ظاهرة
Phylogénie تاريخ تطور السلالة
Phyllum ٤٢٦ ، ٤١٨ شعبة . قبيلة . سلالة
Piémont ٥٤٨ الصدر . بييمونت الإيطالي
Pisolithique (calcaire) ٧٦٤ ، ٣٠٠ بازلّاني (صخر كلسي)
Pithécanthrope ٤٥٦ الإنسان القرد
Plasticité (des argiles) ٢٨١ لدونة (الغضاريات)
Plate-forme littorale ٢٣٩ ، ٢٣٨ سطيحة ساحلية
Plis طيـات
Plis épidermiques طيات سطحية أو غطائية
Plis-failles ٥٠٣ طيات صدعية . طيات فالقية
Pli faillé ٥٠٢ طية مصدوعة
Pli de couverture ٥٧٣ طية البشرة ، طية غطائية
Pli de fond ٥٧١ طية قاع
Plissement ٤٩٧ التواء
Poissons cuirassés ٤٣٦ ، ٤٠٢ أسماك مدرعة
Polarisation de la lumière ٦٩ استقطاب النور
Polje ٣٠٨ دارة . سهل كارستي
Polypiers ٤٤٣ مِدخات
Ponces ١٧٨ حجر الخفّان
Poudingue ٢٦٨ بودينغ
Poudingue pourpre ٢٦٨ بودينغ أرجواني
Poupées (du lœss) ٨١٨ ، ٢٦٨ ، ٢٦٦ دمى (اللوس)
Préhominiens (préhominidés) ٤٥٥ ، ٤٥٦ أوائل الإنسانيات
Protozoaires بروزيات
Pseudomorphoses ٦٢ استحالة كاذبة أو زائفة
Pseudo tachylite ٣٤٤ تاشيليت زائف
Psilophytales دقيقات السماق
Ptéridophytes ٤١٣ نباتات تريدية . الستورات . سرخسيات
Ptéridospermées ٤١٦ عاريات البذور
Ptérodactyle ٤٠٤ مجنّح الأصابع
Pulmonnés ٣٩٨ ذوات الرئة
Pyrite cuivreuse ١١٩ بيريت نحاسي

Pyrite martiale	١١٧ بيريت حديدي
Pyrobitumes	٣٢٨ حـمّـر ناري . بيتوم ناري
Pyroclastique	بركاني فتاتي
Pyromérides	١٧٧ زجاج ريوليتي وردي

Q

Quartz	٨٦ ، ٨٥ مرو
Quaternaire	٤٣ ، ٣٩ رباعي . رابعي

R

Radiocristallographie	٧١ علم البلورات الشعاعي
Radiolaires(vasesá)	٢٥٠ شعاعيات (وحول ذات)
Rameau phylétique	٤٢٠ شعبة الخيليات العرقية
Rang	ترتيب
Raz de marées	٥٩٣ طفرة أو غزو المد
Réfractaire	مقاوم للحرارة
Regard	٥٥٥ نظارة
Régréssion	٤٦٧ انحسار
Rejet	٥٥٥ رمية
Reptiles	٤٣٩ ، ٤٠٤ ، ٤٠٣ زواحف
Résurgence	٣٠٨ نبع فوكلوزي (بعد بالعة)
Réticulés	شبكيات
Rétromorphose	٣٦٢ ، ١٩٤ استحالة تراجعية
Rias	٨٠٦ خور
Rose des déserts	١٢٨ وردة الصحاري
Rotifères	دولابيات . دوّارات
Royaume	مملكة

S

Sables et argiles bigarrés	٢٨٦ رمال وغضاريات مبرقشة
Sahélien	٧٩٥ ساحلي
Salpêtre	٢٤٢ بورق أرمني . ملح البارود
Sapropèles	٢٤٦ وحول نتنة عضوية
Saumâtre	أجاج
Schistes bitumineux	٣٢٨ شيست حـمّـري
Schistes lustrés	٣٦٢ ، ٣٤٨ شيست لـمّـاع
Schistes noduleu	٣٥٢ ، ٣٤٨ شيست لمّاع عقدي
Schistosité	٥٦٨ تشعير . شيستوية
Scolécodontes	٣٩١ الأسنان الفكية
Séismes	٥٩٢ ، ٣١ زلازل
Sel gemme	١٣٣ الملح الصخري
Serpentine	٢٠٧ ، ١١٤ ، ١٠٧ صخر الحية . سربنتين
Serpules	٣٩١ ديدان ملتفة . سربولا
Sicilien	٨١١ صقلـي
Sigillaires	٤٣٧ سيجيللاريا
Silicification	تسليس
Solifluxion	٢٢٩ جريان التربة . انزلاقات الأراضي
Sills	١٥٥ عروق طبقية

Sols ٢٥٩ تُرَب
Sols fossiles ٣٢٥ ترب مستحاثة
Sols latéritiques ٢٦٢ ، ٢٦١ ترب لاتيريتية
Sols Zonaux ٢٦٢ ترب نطاقية
Soulèvement (hypothèse de) ٦٠٠ فرضية النهوض
Spicules شوكات
Spongiaires ٣٨٥ إسفنجيات
Stégocéphales ٤٠٢ مغطاة الرأس . سقفيات الرأس
Stellérides ٢٨٨ نجميات . كوكبيات
Stratifiacation ٤٦٣ تطبق . طبقية
Stratification entrecroisée ٢٦٤ تطبق متصالب
Strombes (Couches à) ٨١١ طبقات ذات حلزونيات
Structure des roches éruptives بنية الصخور الاندفاعية
Subsidence ٣٥٨ انكباس
Substitution (gîte de) ٢١٣ مكمن حلول . استعاضة
Surélèvation ٥٠٨ شهوق
Syénite ١٧٨ الصخر الأسواني . سيينيت
Synclinal ٥٠١ مقعر
Synclinal perché ٥٢٨ ، ٥٢٦ مقعر معلق
Synclinorium ٥٠٧ ، ٥٠٣ مقعر مركب
Synchronisme ٤٧٢ تزامن . تواقت
Système ٤٨٩ ، ٣٩ منظومة . جملة

T

Talc ١١٤ ، ١٠٥ طلق
Tassement خفس
Tectonique ٤٩٣ ، ٤٨٠ تكتونيك
Teintes de biréfrigérence ٧٦ ألوان ثنائية الانكسار
Tentacules المجسيّات
Terrasse ٢٣٣ ، ٢٦٤ ، مصطبة
Terre à foulon ٢٧٥ بيلون
Tétracorallaires ٤٣٥ ، ٣٨٦ مرجانيات رباعية
Texture ١٥٢ نسيج
Thallophytes ٤١٢ ، ٤١٠ مشريات . ثالوسيات
Théromorphes ٤٠٧ الحوتيّات
Thixotropie ٢٨٥ الميغ
Topaze ١١٠ زبرجد . ياقوت أصفر
Torrent ٢٣١ سيل
Tourbe ٣١٩ طورب . خث
Transformisme ٣٧٢ التحولية
Transgression ٤٧٥ ، ٤٦٨ ، ٤٦٧ طغيان . تجاوز
Tribu عشيرة . قبيلة
Trilobites ٤٣٢ ، ٣٤٩ ثلاثيات الفصوص
Tsunami ٥٩٣ طفرة المد

V

Varves ٢٤٦ ، ٢٤٥ حزامات غضارية فصلية
Vase ٢٦٥ ، ٢٥٠ وحل
Vases à diatomées ٢٥٠ وحول ذات مشطورات
Vénus ٤٤ الزهرة
Vers ٣٩٣ ، ٣٩١ ديدان
Vertébrés ٤٠٠ الفقاريات
Virgations ٥١٠ ، ٥٠٩ ، ٥٠٨ انفراجات
Volcans ٥٩٤ ، ٥٩١ ، ١٥٧ ، ٢٣ براكين

Z

٥٢٠ ، ٥١٩ نطاقات الجبس Zone des gypses

٣٨٦ مرجانيات زهرية Zoanthaires

٢٥٣ حيوانية المنشأ (رسوبات) Zoogènes (sédiments)

محتوى الكتاب

تمهيد ٩
مقدمة الطبعة الثالثة ١٣
مقدمة الطبعة الرابعة ١٥

مقدمة . معلومات عامة

تعريف الجيولوجيا وتقسيماتها .
اعتبارات عامة عن منشأ الأرض ، تركيبها ، وتاريخها

١ ــ **تعريف الجيولوجيا وتقسيماتها** ١٧
٢ ــ **منشأ الأرض** : آ) شكل الأرض . ب) السخونة المركزية ٢٠
٣ ــ **التركيب العام للأرض** : آ) مبدأ التوازنية . ب) كثافة الأرض . ج) الزلازل .
د) فكرة عن البنية الإجمالية للكرة الأرضية ٢٥
٤ ــ **الخطوط الكبرى لتاريخ الأرض** : I ــ التأريخ الجيولوجي II ــ تقدير الأزمان المطلقة في الجيولوجيا : عمر الأرض . III ــ مصير الأرض وفناؤها ٣٧

الجزء الأول
مواد القشرة الأرضية

الفصل الأول
الفلزات ، عناصر الصخور

١ ــ **عموميات** ٥٥
I ــ التمييز بين المادة البلورية والمادة اللا بلورية ٥٥
II ــ مفاهيم علم البلورات (الكريستالوغرافيا) : آ) علم البلورات الهندسي (المنظومات البلورية ، مصطلحات) . ب) الكريستالوغرافيا الفيزيائية (الانفصامات . التوأمات . الخصائص الضوئية للفلزات . المجهر الاستقطابي . الفحص بالضوء المستقطَب) ٧٤
III ــ خصائص الفلزات غير السابقة : الشفوفية ، القساوة ، قابلية الانصهار ، الخصائص الكيميائية للفلزات التي يستفاد منها في التحديدات النوعية ، الإنارة ٧٨

٢ ـ فلزات الصخور ٨١
I ـ الفلزات الرئيسة في الصخور الاندفاعية : آ) المرو . ب) الصفاح (الصفاحات بالمعنى الصحيح «فلدسباتيد» . أشباه الصفاح «الصفاحات الحديثة») . ج) أنواع الميكا . د) بيروكسينات . هـ) أمفيبولات . و) البريدوتات ٨٤
II ـ الفلزات الثانوية في الصخور الاندفاعية ١٠٧
III ـ فلزات الصخور الاستحالية ١١١
IV ـ الفلزات الحاوية على معادن ١١٧
V ـ فلزات الشوائب والمكامن غير الحاوية للمعادن ١٢٣
VI ـ فلزات الصخور الرسوبية ١٢٤

الفصل الثاني

الصخور الاندفاعية والمهل

١ ـ عموميات ١٣٥
I ـ التركيب الكيميائيب لأنواع المهل الأصلية ١٣٦
II ـ تصلب المهل وتمايزه ١٤١
III ـ التركيب المينيرالوجي الحاصل ١٤٨
IV ـ نسيج الصخور الاندفاعية ١٥٠
V ـ كيفية تكمُّن الصخور الاندفاعية ١٥٤
VI ـ تصنيف الصخور الاندفاعية ١٥٩

٢ ـ مختلف عائلات الصخور الاندفاعية ١٦٤
I ـ عائلات الغرانيت : آ) نماذج حبيبية (صخور كتلية) . ب) نماذج حبيبية مجهرية (صخور العروق) . ج) نماذج ميكروليتية وزجاجية (صخور بركانية)... ١٦٤
II ـ عائلة صخور السيينيت . آ) نماذج حبيبية . ب) نماذج حبيبية مجهرية . ج) نماذج ميكروليتية وزجاجية ١٧٨
III ـ عائلة الديوريت . آ) نماذج حبيبية . ب) نماذج حبيبية مجهرية . ج) نماذج ميكروليتية وزجاجية ١٨٤
IV ـ عائلة الغابرو . آ) نماذج حبيبية . ب) نماذج حبيبية مجهرية . ج) نماذج أوفيتية . د) نماذج ميكروليتية وزجاجية ١٩٠
V ـ عائلة السيينيت النيفيلينية . آ) نماذج حبيبية . ب) نماذج حبيبية مجهرية . ج) نماذج ميكروليتية ٢٠١

VI ــ عائلة الغابرو النيفيلينية ٢٠٤
VII ــ عائلة الايجوليت ٢٠٥
VIII ــ عائلة البريدوتيت . آ) نماذج حبيبية . ب) نماذج أوفيتية . ج) نماذج ميكروليتية . ٢٠٦
٣ ــ **النيازك** ٢٠٩
٤ ــ **المكامن المعدنية من أصل ناري وهيدروترمالي**. الدخيلات، مكامن التفرد، مكامن غازية، مكامن تماسية أو استحالية، مكامن التشرب المنبث، العروق، حالة خاصة (عروق مرو أو كالسيت) ٢١٢

الفصل الثالث
الصخور الرسوبية ودورة الترسب

١ ــ **عموميات** ٢٢٥
I ــ عوامل ناظمة لنشوء الصخور الرسوبية : آ) الحت (العوامل الفيزيائية، دور المياه الهوجاء، المياه الجارية، السيول الجليديات، الحت البحري، فعل الريح، التأثيرات الكيميائية، التأثيرات العضوية) ب) الترسب (الترسب البحيري، الترسب البحري) ٢٢٥
II ــ تطور الرسوبات ٢٥٣
III ــ بنية ونسيج الصخور الرسوبية ٢٢٥
IV ــ تصنيف الصخور الرسوبية ٢٢٨

٢ ــ **وصف الصخور الرسوبية**
I ــ صخور حطامية المنشأ. آ) الأنماط الهشة (الترب، المهيلات، المورينات، اللحقيات السيلية، اللحقيات النهرية، اللحقيات الريحية، اللوس). ب) أنماط متماسكة (البريشات، صخور البودينغ، الأحجار الرملية، كوارتزيت، مولاس) . ٢٥٩
II ــ صخور سيليسية ــ ألومينية. آ) الغضاريات بالمعنى الصحيح (تعقد تركيب الغضاريات. العناصر الرئيسة في الغضاريات. منشأ هذه المركبات الغضارية. بنية الغضاريات المجهرية. تحليل الغضاريات بالأشعة السينية. تحليل تفاضلي حراري للغضاريات. خصائص الغضاريات. بعض نماذج الغضاريات). ب) غضاريات متبقّية (الكاءولان، تربة حمراء، سيديروليتيك). ج) لاتيريت وبوكسيت . د) الشيست وصخر الألواح الحجرية (الأردواز) ٢٧٣
III ــ الصخور السيليسية. آ) صخور سيليسية عضوية (راديولاريت، دياتوميت، سبونغوليت)، صخور سيليسية من منشأ كيميائي (حجر الرحى، الصوان،

الجيزيريت . اليشب) ٢٨٩
IV ــ صخور كربوناتية . آ) كلس حطامي المنشأ . ب) صخور كلسية كيميائية المنشأ . ج) صخور كلسية عضوية المنشأ . د) صخور كلسية متنوعة (صخور غير نقية) . هـ) فساد الصخور الكلسية ٢٩٥
V ــ صخور ذات منشأ لاغوني ٣١٠
VI ــ صخور المحروقات . آ) الفحوم الحجرية (الطورب ، الليغنيت ، الفحم الحجري ، أصل الفحم الحجري) . ب) هيدروكاربورات طبيعية (شيست حمّري وبترول ، منشأ البترول) ٣١٨
VII ــ الصخور الفوسفاتية ٣٣٥
VIII ــ الصخور الحديدية ٣٣٩

الفصل الرابع

الصخور البلورية المتورقة والاستحالة

I ــ النماذج الرئيسة : الغنايس ، الميكاشيست ، أمفيبوليت ، بيروكسينيت ، فيلّاد ... إلخ ٣٤٤
II ــ منشأ الصخور البلورية المتورقة . آ) استحالة ديناميكية . ب) الاستحالة (الاستحالة بالتماس ، الاستحالة العامة) ٣٥٠

الجزء الثاني

التوزع التأريخي والجغرافي لمواد القشرة الأرضية

الفصل الأول

الباليئونتولوجيا أو دراسة المستحاثات . الطرائق ، النتائج ، الفائدة

١ ــ **تعاريف . لمحة تاريخية** ٣٦٩
٢ ــ **ظاهرات الاستحالة** ٣٧٤
٣ ــ **شروط تكمُّن المستحاثات** ٣٧٩
٤ ــ **علم المستحاثات وعلم التصنيف** ٣٨٠
I ــ لمحة عن تصنيف الحيوانات الحالية والمستحاثة ٣٨٢
II ــ لمحة عن تصنيف النباتات الحالية والمستحاثة ٤١٠
٥ ــ **علم المستحاثات والتطور** ٤١٧

٦ ــ **علم المستحاثات والتطبق** ٤٢٧
I ــ فائدة المستحاثات ٤٢٧
II ــ الحياة في العصر السابق للكامبري ٤٣٠
III ــ النبيت والوحيش في العصر الأول ٤٣١
IV ــ النبيت والوحيش في العصر الثاني ٤٤٠
V ــ النبيت والوحيش في العصر الثالث ٤٥٢
VI ــ النبيت والوحيش في العصر الرابع ٤٥٥

الفصل الثاني

مبادئ علم الطبقية

١ ــ **العلاقات المتبادلة بين الطبقات** ٤٦٢
I ــ الطبقية والتورق ٤٦٢
II ــ التوافق والتنافر ٤٦٦
III ــ الطغيانات والانحسارات ٤٦٧
٢ ــ **تحديد أعمار الطبقات** : حالة فريدة : عمر زمر اندفاعية ومتبلورة تورقية ٤٦٨
٣ ــ **تواقت الطبقات** ٤٧٢
٤ ــ **الطبقية والتكتونيك** : آ) الرقع القارية . ب) مناطق المقعرات الأرضية ٤٨٠
٥ ــ **التراكيب الطبقية**

الجزء الثالث

تشوهات القشرة الأرضية

مبادئ التكتونيك

الفصل الأول

التكتونيك التحليلي أو مفردات التكتونيكيين

١ ــ **الالتواءات** ٤٩٧
I ــ حول مرونة الصخور ٤٩٨
II ــ الأشكال الأولية في الالتواء ٥٠١
III ــ تجمع الطيات ٥٠٥
IV ــ تمثيل طيات على خارطة ٥١١

V — تأثير طبيعة الصخور على هيئة الطيات ٥١٢
VI — عمر الالتواءات والالتواءات المنضّدة ٥٢١
VII — الأنماط التكتونية. آ) النمط الجوراني. ب) النمط الألبي (المصطلحات في أغشية الجرف. التكتونيك الألبي) ٥٢٤
VIII — استحداث الالتواءات تجريبياً ٥٥٣
٢ — الفوالق ٥٥٤
I — تعاريف ٥٥٥
II — ملاحظة الفوالق ٥٥٧
III — تجمع الفوالق ٥٥٨
IV — تحديد عمر الفوالق ٥٦٢
V — الفوالق الحية والفوالق الحالية ٥٦٣
٣ — التشوهات الصميمية في الصخور خلال الحركات الأوروجينية ٥٦٣
I — الفصمات ٥٦٤
II — الانفصام الشيستي ٥٦٦

الفصل الثاني

التكتونيك العام ومنشأ الجبال

١ — القوانين الكبرى لتشكل السلاسل الجبلية ٥٧١
I — سلاسل المقعرات الأرضية وطيات القاع ٥٧١
II — اتجاه الدفع في سلسلة جبلية ٥٧٥
III — تعقيد الالتواء في سلسلة جبلية ٥٧٦
IV — تكوين وتطور سلاسل الجبال: التكتونيك الجنيني. تطبيق على السلسلة الألبية. ٥٧٩
V — السلاسل الجبلية القديمة ٥٨٧
VI — البراكين والزلازل ٥٩١
٢ — الحركات المولدة للقارات ٥٩٥
٣ — الأسباب العامة للحركات المولدة للجبال ٥٩٩
I — فرضية النهوض ٦٠٠
II — فرضية التقلّص ٦٠٠
III — فرضية توازن القارات ٦٠٢
IV — نظرية فيجنر حول انسياح القارات ٦٠٣

V — فرضية فينينغ — مينسز ٦١١
VI — فرضيات جريان كتل سطحية بفعل الثقالة ٦١٥
VII — تطبيق المعطيات السابقة على سلسلة من نمط ألبي ٦٢٠

الجزء الرابع

الجيولوجيا التاريخية : الأدوار الجيولوجية

الفصل الأول

الصخور السابقة للكامبري

١ — **صفات عامة** ٦٢٩
٢ — **التوزع الجغرافي** ٦٣١
I — المجن البلطي ٦٣١
II — المناطق الأوروبية الأخرى. آ) سلسلة هبريد. ب) إيقوسيا. ج) الكتلة الآرموريكية. د) بوهيميا ٦٣٣
III — المجن الكندي ٦٣٤
IV — خانق كولورادو الكبير ٦٣٦
٣ — **خلاصات** ٦٣٧

الفصل الثاني

الصخور الكامبرية

١ — **صفات عامة** ٦٣٩
٢ — **التوزع الجغرافي** ٦٤٠
أ — السحن النيريتية : آ) المجن البلطي. ب) سلسلة هبريد.
ب — السحن الجيوسنكلينالية : آ) أوروبا الشمالية. ب) الآردين. ج) فرانكونيا، سيليزيا، بولونيا. د) الجبل الأسود. هـ) سردينيا. و) المغرب ٦٤٠
ج — السحن المختلطة. آ) الكتلة الآرموريكية. ب) بوهيميا ٦٤٣
د — كامبري أمريكا الشمالية ٦٤٥

الفصل الثالث

الأراضي السيللورية

١ — **صفات عامة** ٦٤٧

٢ ــ **التوزع الجغرافي** ٦٤٩
أ ــ الجزر البريطانية ٦٤٩
ب ــ حافة الترس البلطيقي ٦٥١
ج ــ المقعر الأرضي في أوروبا الشمالية ٦٥١
د ــ المقعر الأرضي الرومي : الجبل الأسود ، المغرب ٦٥١
هـ ــ أوروبا الوسطى . آ) بريتانيا ، ب) بوهيميا ٦٥٣
٣ ــ **خلاصات جغرافية (باليوجغرافية)** ٦٥٤

الفصل الرابع

الطبقات الديفونية

١ ــ **صفات عامة** ٦٥٧
٢ ــ **التوزع الجغرافي** ٦٥٩
أ ــ منطقة الحث القديم الأحمر أو سحن الديفوني القارية ٦٥٩
ب ــ المنطقة ذات السحنة المختلطة البحرية في أوروبا الوسطى : آ) الآردين، ب) الكتلة الشيستية الرينانية . ج) بولونّيه . د) بريتانيا ٦٦٠
ج ــ الديفوني ذو السحنة العميقة : آ) الجبل الأسود. ب) جبال الفوج. ج) المغرب ٦٦٥

الفصل الخامس

الصخور الفحمية

١ ــ **صفات عامة** ٦٦٩
٢ ــ **توزيع الكاربونيفير الجغرافي** : آ) الكاربونيفير في إنكلترا. ب) كاربونيفير الحوض الفرنسي ــ البلجيكي. ج) حوض السار . د) كاربونيفير بريتانيا. هـ) الفوج. و) الماسيف سنترال الفرنسية . ز) الكاربونيفير في بعض المناطق الفرنسية الأخرى (أ ــ البيرينيه، ب ــ الألب الفرنسية). ح) روسيا. ط) كاربونيفير المناطق الميزوجية . ي) كاربونيفير أمريكا الشمالية ٦٧٣
٣ ــ **توزع البرمي جغرافياً** : آ) ألمانيا. ب) إنكلترا. ج) فرنسا. د) روسيا. هـ) المجال الميزوجي . و) أمريكا الشمالية ٦٨٦
٤ ــ **قارة غوندوانا** ٦٩٠

الفصل السادس

الصخور الترياسية

١ ــ صفات عامة ٦٩٣

٢ ــ التوزع الجغرافي للترياس ٦٩٥

أ ــ ترياس جرماني ٦٩٥

ب ــ ترياس ألبي. آ) الألب الغربية. ب) الألب الشرقية. ج) ترياس المناطق الأخرى ٦٩٨

الفصل السابع

الأراضي الجوراسية

١ ــ صفات عامة ٧٠٣

٢ ــ توزع الجوراسي جغرافياً ٧٠٧

أ ــ الزمرة الكلاسيكية للجوراسي الإنكليزي ٧٠٧

ب ــ جوراسي الحافة الشرقية لحوض باريس ٧١٠

ج ــ جوراسي الحافة الغربية لحوض باريس ٧١٣

د ــ جوراسي لوكسمبورغ والآردين وبولونّية ٧١٤

هـ ــ الجوراسي الأعلى في الحوض الشمالي ٧١٦

و ــ جوراسي الجورا وبورغونيا ٧١٧

ز ــ جوراسي حافة الماسيف سنترال الفرنسية ٧١٩

ح ــ السحن الجيوسنكلينالية الميزوجية للجوراسي: آ) جوراسي الجيوسنكلينال الدوفيني. ب) جوراسي نطاق البريانسونّيه. ج) جوراسي نطاق البييمونت. د) جوراسي جبال البيرينيه ٧٢٠

الفصل الثامن

الأراضي الكريتاسية

١ ــ صفات عامة ٧٢٩

٢ ــ التوزع الجغرافي للكريتاسي الأسفل ٧٣٣

أ ــ إنكلترا. بولونية، هانوفر، روسيا. آ) السحنة الفيلدية أو الأجاجية في الكريتاسي. ب) سحنة شمالية ٧٣٣

ب ــ **حوض باريس وجورا** (سحن ساحلية). آ) حوض باريس. ب) الجورا........٧٣٥
ج ــ **المنطقة الألبية الفرنسية** (سحن مختلطة وجيوسنكلينالية)
آ) السلاسل شبه الألبية الجنوبية (الحفرة الفوكونتية). ب) سواحل مرتفعات مور ــ استيريل، ج) سواحل الماسيف سنترال. د) السلاسل شبه الألبية الشمالية (سحن مختلطة). هـ) المناطق الألبية الداخلية (سحن جيوسنكلينالية)..٧٣٩
د ــ الكريتاسي الأسفل في مناطق أوروبية أخرى..............................٧٤٤
هـ ــ الكريتاسي الأسفل في المغرب العربي الكبير...........................٧٤٦
٣ ــ **التوزع الجغرافي للكريتاسي الأعلى**: آ) الحوض الباريسي. ب) ألمانيا، الدانمارك وسكانيا. ج) المناطق المتوسطية (أكيتانيا، البيرينيه، خليج البروفانس السفلي).
د) المنطقة الألبية وتوابعها. هـ) إفريقيا الشمالية.............................٧٤٧
٤ ــ **الكريتاسي في أمريكا الشمالية**: آ) الكريتاسي الأسفل (نمط أطلنطي، نمط أمريكا الوسطى، نمط الباسفيكي ب) الكريتاسي الأعلى.............................٧٤٧

الفصل التاسع
الصخور النموليتية (الباليوجيني)

١ ــ **صفات عامة**..٧٥٩
٢ ــ **التوزع الجغرافي للنموليتي**..٧٦٢
أ ــ الزمرة النموذجية لحوض باريس.......................................٧٦٢
ب ــ ملحقات حوض باريس. آ) إنكلترا. ب) بلجيكا. ج) بريتانيا. د) ألمانيا الشمالية..٧٦٩
ج ــ الإيوسين القاري والأوليغوسين الماهج في وادي الرون وحوض الانكباس آ) الإيوسين القاري. ب) أوليغوسين لاغوني بحري في حفر الانكباس وفي وادي الرون..٧٧٢
د ــ نموليتي حوض آكيتانيا..٧٧٤
هـ ــ نموليتي المقعر الأرضي الألبي.......................................٧٧٧
ز ــ سحن أخرى نموليتية جيوسنكلينالية. آ) اسبانيا. ب) إيطاليا. ج) الكاربات. ٧٨٢
ح ــ الحافة الجنوبية للمقعر الميزوجي. آ) فيستنتان. ب) الجزائر وتونس.
ج) المغرب، د) مصر..٧٨٥
ط ــ نموليتي أمريكا الشمالية..٧٩٠

الفصل العاشر

الصخور النيوجينية

١ ــ **صفات عامة** ٧٩٣

٢ ــ **التوزع الجغرافي للنيوجين** ٧٩٦

أ ــ مجال بحر الشمال ٧٩٦

ب ــ الخلجان البريتانية ٧٩٧

ج ــ حوض أكيتانيا ٧٩٨

د ــ الميوسين الرومي : آ) المنخفض الحولألبي . ب) إيطاليا . ج) اسبانيا . د) إفريقيا الشمالية . هـ) أوروبا الشرقية ٧٩٩

هـ ــ البليوسين الرومي : آ) إيطاليا . ب) فرنسا . ج) أوروبا الشرقية ٨٠٤

الفصل الحادي عشر

الأراضي الرباعية

١ ــ **عموميات** ٨٠٩

I ــ التوضعات البحرية ووحيشها ٨١٠

II ــ التوضعات القارية . آ) المصاطب النهرية . ب) التوضعات الجمودية . ج) اللوس . د) الوحيشات والنبيتات القارية . هـ) الإنسان المستحاث ومصنوعاته ٨١١

٢ ــ **ترابط أو تناسب مختلف الظاهرات الرباعية** ٨٢٦

٣ ــ **الجموديات الرباعية** ٨٢٧

أ ــ الجموديات الاسكندينافية ٨٢٧

ب ــ الجموديات الألبية ٨٣٢

ج ــ الجموديات البيرينية ٨٣٥

د ــ الجموديات الأمريكية ٨٣٥

الظاهرات البركانية خلال الرباعي ٨٣٨

الجزء الخامس

تمثيل الصفات الجيولوجية لمنطقة ما بالرسم. الخرائط الجيولوجية

الفصل الأول
الخرائط الطبغرافية

الفصل الثاني
الخرائط الجيولوجية

I — تعاريف ٨٤٩
II — تصميم الخرائط الجيولوجية ٨٤٩
III — الخرائط الجيولوجية الرئيسة: آ) خرائط التعليم. ب) الخرائط الجيولوجية المعضلة. ج) الخرائط البنيوية. د) وصف خارطة جيولوجية من مقياس ١ / ٨٠٠٠٠ .... ٨٥٣
VI — المقاطع الجيولوجية والمجسمات ٨٥٨

الفصل الثالث
الطريقة السينمائية والجيولوجيا

آ) تمثيل الظاهرات الجغرافية القديمة سينمائياً. ب) التمثيل السينمائي للظاهرات التكتونية ٨٦٣
مصطلحات ألفبائية ....
الفهرس ....

الوجيز في الجيولوجيا / تأليف ليون موريه؛ ترجمة يوسف الخوري، عبد الرحمن حميدة. — ط. ١. — دمشق: دار طلاس، ١٩٨٧. — ٨٩١ ص.: صور، خرائط طوبوغرافية، مخططات؛ ٢٤ سم.

بآخره دليل بالعبارات التقنية وأسماء الفلزات والصخور والمستحاثات.

١ — ٥٥١ م و ر و ٢ — العنوان ٣ — موريه ٤ — الخوري ٥ — حميدة

مكتبة الأسد

رقم الايداع — ٥٨٣ / ٦ / ١٩٨٧

رقم الاصدار ٢٨٠

مطبعة العجلوني

السوداء، والسلاسل البلقانية والكاربات) ولكن في أمريكا أيضاً، إذن لقد امتدت الظاهرة على مجمل الكرة الأرضية ولكن على الخصوص في نصف الكرة الشمالي (شكل ٣٠٧)[١].

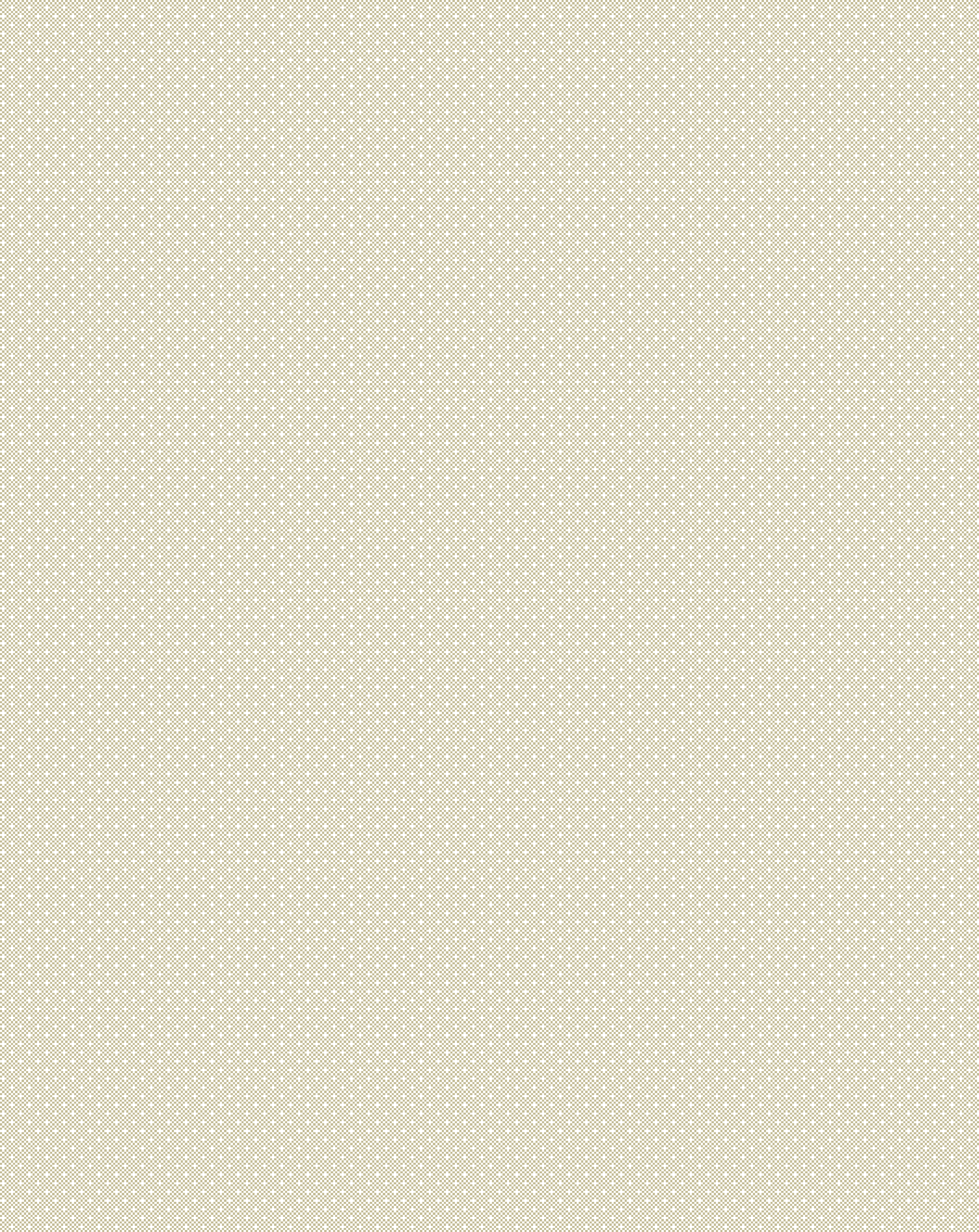
وعلاوة على الصفات الليتولوجية (لحقيات فرطة غير متجانسة ذات حصويات مخططة) فإن المركبات الجمودية والنهرية ــ الجمودية تفصح عن نفسها عن طريق مورفولوجيتها أيضا. فوادٍ ما نتج عن عمل جمودية يحوي دائماً، كما سبق ورأينا، مقطعاً متميزاً على شكل معلف، كحرف U، عن الشكل على صورة حرف V في الأودية السيلية الصرفة (شكل ٧٠ و ٧١). فتظهر على السفوح على ارتفاع متغير (ذلك لأنه، كما هو الحال بالنسبة للمصاطب، توجد أشكال جمودية مصندقة) خطوط أعراف (Vallums) مؤلفة من مورينات قديمة جانبية ذات جلاميد[٢]، في حين تتناثر فوق خط قاع thalweg الوادي مورينات القاع، التي تكون غضارية على العموم.

وتكون الأجزاء الجبهية في الجموديات القديمة (جموديات ألبية بشكل خاص) هي الأكثر اهتماماً من جانبنا، إذ سيكون من الممكن أن نلاحظ فيها الحوضة أو المنخفض الختامي من اللسان الجمودي، الذي تتبعثر فيه أحياناً تلال صغيرة غير

---

(١) لا تكون هذه الظاهرة العامة خاصة بالعصر الرباعي، كما سبق لنا ورأينا. وتكون أسبابها إذن، ذاتها، عامة وكثيراً ما جرى البحث عنها في معطيات كونية. وهكذا استطاع ميلا نكوفيتش، استناداً على تبدلات (وذلك خلال ٦٠٠ ألف سنة أخيرة) قيمة التشمس الأرضي وذلك حسب التبدلات الدورية لانحراف فلك orbite، وانتقال محور القطبين والأوج، استطاع أن يحسب التبدلات المناخية المتحصلة ولا سيما الارتفاع الأدنى للثلوج الدائمة. وتتنضد المنحنيات التي أمكن الحصول عليها بهذه الطريقة، بشكل مستغرب، فوق خطوط توسعات الجموديات المتعاقبة (٤ امتدادات قصوى تنطبق على ٤ زحوف جمودية) وتشير إلى أن نهاية انسحاب أواخر الجموديات الفورمية تعود لحوالي ١٠٠٠٠ سنة تقريباً، وهو رقم يتطابق مع الرقم الذي أمكن الحصول عليه بطرائق أخرى استندت على توضعات البلطيق التالية للجموديات. ولكن إذا مددنا منحنى ميلا نكوفيتش في العصور الأقدم (بليوسين، ميوسين ... إلخ) فسنكون أيضاً مندفعين للتسليم بوجود هذه الأدوار للمراحل الجمودية، وهو مالا تؤيده الدراسات الجمودية أبداً.

(٢) تكون أقدم هذه المورينات أحياناً مجروفة بفعل الحت ولا تترجم عن نفسها إلا بوجود «جلاميد تائهة» ضخمة مبعثرة فوق المرتفع الأرضي.



المؤلف والكتاب

المؤلف الأستاذ الدكتور ليون موريه هو أحد جهابذة علماء الجيولوجيا العالميين البارزين في هذا العصر، فقد شغل في البداية منصب أستاذ في مدرسة المهندسين الهدروليين (الهندسة المائية) في غرينوبل، وله دراسات مستفيضة في تكتونية جبال الألب والأطلس المغربي، وعمل عميداً لكلية العلوم في جامعة غرينوبل، وهو حجّة علمية عالمية في تحديد أنواع الاسفنجيات. لقد كان من الأساتذة الأوائل الذين أخرجوا فيلماً بالألوان عن التشكل الجيولوجي لجبال الألب الفرنسية وله العديد من المؤلفات الجيولوجية القيّمة أهمها: الوجيز في الباليونتولوجيا الحيوانية، والوجيز في الباليونتولوجيا النباتية، والوجيز في الجيولوجيا، وهو الكتاب الذي نضع ترجمة الطبعة الخامسة منه اليوم بين أيادي قراء اللغة العربية، حرصاً على إفادة أبناء الوطن العربي بأحدث وأبلغ ما توصّل إليه العلم في مختلف مواضيع الجيولوجيا التي هي مواضيع الساعة، والتي من شأنها دعم اقتصاد البلاد وتأمين ازدهاره. وهذا الكتاب يعتبر من أمهات الكتب العلمية الأكاديمية في علم الجيولوجيا، ومن أهم المراجع العالمية في هذا المضمار.



